THÈSE

présentée à la

Faculté des Sciences de l'Université de NANCY

pour obtenir

le Titre de Docteur - Ingénieur

par

Davoud PARSA PAJOUH

Contribution à l'étude de la qualité du bois de Fagus orientalis de trois stations de la forêt de l'ELBOURZ au moyen d'essais classiques sur éprouvettes normalisées et d'analyses densitométriques de radiographies.

Soutenance le 16 Juillet 1970

Commission d'examen

MM. F. MANGENOT... Président

H. POLGE.....
J.VENET.....
J. DEXEHEIMER.
} Examinateurs

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

E R R A T U M

Page	au lieu de	lire
1	climatique	climacique
7	penser	pensé
7	a obtenu les fortes relations	a obtenu de fortes relations
7	et ceux de mécanique du bois	et mécaniques du bois
Fig. 5	demie	demi
8	biais	bois
18	1180.40	118.400
29	la qualité	la quantité
30-31	micro-densimètre	micro-densitomètre
33	Σ m^2	Σ m^2 K
38	De l'état saturé à l'état sec à l'air .... sa valeur moyenne est de 0,24 %	De l'état saturé à l'état sec à l'air .... sa valeur moyenne est de 0,42 %
94	figure 9, 10 et 12	figure 9, 10 et 11
97	longueur radiale ou le bois	longueur radiale où le bois
98	amtitude	altitude
98	tableau 23	tableau 22
105	droits de régression	droites de régressions
106	composants de la densité	composantes de la densité
Annexe I	Mateucia structhiopteris	Mateucia struthiopteris
" I	ASSALEN	ASSALEM

E R R A T U M

Page	au lieu de	Lire
1	climatique	climatique
7	penser	pensé
7	a entendu les fortes relations	a obtenu les fortes relations
7	et tenu de mécanique du bois	et mécaniques du bois
Fig. 5	demi	mm
8	biais	bois
19	1180.40	122.400
25	la qualité	la quantité
30-31	micro-densiométre	micro-densitométre
33	X m^2	X m^2 %
35	De l'état saturé à l'état sec à l'air ... sa valeur moyenne est de 0,24 %	De l'état saturé à l'état sec à l'air ... sa valeur moyenne est de 0,42 %
94	figure 9, 10 et 12	figure 9, 10 et 11
97	longueur radiale de la bois	longueur radiale de la bois
99	altitude	altitude
98	tableau 23	tableau 22
105	droite de régression	droites de régressions
108	composants de la densité	composantes de la densité
Annexe I	Matériel structuriel	Matériel structuriel
" I	ASSALEN	ASSALEN

Annexe II	Au lieu de	lire
Fig. 13	Y = 4,68 + 37,76 X X = 0,56 + 0,01 Y	X = - 4,68 + 37,76 Y Y = 0,56 + 0,014 X
Fig. 14	Y = 216,99 + 0,53 X X = 423,36 + 14,8 Y	X = - 216,99 + 5,3 Y Y = 423,36 + 1,48 X
Fig. 15	X = 26,28 + 0,314 Y Y = 37,54 + 1,98 X	Y = 26,28 + 0,314 X X = - 37,54 + 1,98 Y
Fig. 16	X = 3 411,30 + 18,34 Y Y = 267,6 + 0,0158 X	X = 34 113,0 + 183,4 Y Y = 267,6 + 0,0015 X
Fig. 17	Y = 308,80 + 42,87 X X = 0,11 + 0,007 Y	X = 308,80 + 42,87 Y Y = 0,11 + 0,007 X
Fig. 18	Y = 47,48 + 24,99 X X = 2,55 + 0,02 Y	X = - 47,48 + 24,99 Y Y = 2,55 + 0,02 X
Fig. 19	Y = 177,18 + 38,36 X X = 3,47 + 0,01 Y	X = 177,18 + 32,36 Y Y = 3,47 + 0,0112 X
Fig. 20	Y = - 102,11 + 16,27 X X = 7,49 + 0,03 Y	X = - 102,11 + 16,27 Y Y = 7,49 + 0,03 X
Fig. 21	Y = 136,56 + 0,38 X	Y = - 136,56 + 0,38 X

Anexo 11	No. 1500 de	1120
Fig. 13	Y = 8,02 + 57,16 X X = 0,56 + 0,04 Y	X = - 8,65 + 27,74 Y Y = 0,36 + 0,018 X
Fig. 14	Y = 225,96 + 0,64 X X = 931,84 + 1,0 Y	Y = - 316,10 + 2,3 Y Y = 457,84 + 1,46 X
Fig. 15	X = 18,02 + 0,274 Y Y = 37,54 + 1,36 X	Y = 27,20 + 0,124 X X = - 37,20 + 1,39 Y
Fig. 16	X = 3 411,20 + 2,24 Y Y = 261,6 + 0,0156 X	X = 44 112,0 + 183,4 Y Y = 247,2 + 0,0018 X
Fig. 17	Y = 208,40 - 46,07 X X = 0,11 + 0,027 Y	X = 308,80 + 13,47 Y Y = 0,11 + 0,007 X
Fig. 18	Y = 87,46 + 24,80 X X = 2,59 + 0,02 Y	X = - 91,08 + 29,80 Y Y = 2,59 + 0,02 X
Fig. 19	Y = 177,14 + 58,04 X X = 3,47 + 0,01 Y	X = 273,10 + 12,04 Y Y = 3,47 + 0,012 X
Fig. 20	Y = - 103,22 + 14,27 X X = 7,00 + 0,03 Y	Y = - 123,12 + 16,37 Y X = 7,00 + 0,02 X
Fig. 21	Y = 130,15 + 0,46 X	Y = - 126,20 + 0,34 X

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551914_0005

THÈSE

présentée à la

Faculté des Sciences de l'Université de NANCY

pour obtenir

le Titre de Docteur - Ingénieur

par

Davoud PARSA PAJOUH

Contribution à l'étude de la qualité du bois de Fagus orientalis de trois stations de la forêt de l'ELBOURZ au moyen d'essais classiques sur éprouvettes normalisées et d'analyses densitométriques de radiographies.

Soutenance le 16 Juillet 1970

Commission d'examen

MM. F. MANGENOT... Président

H. POLGE.....
J.VENET.....
J. DEXEHEIMER.
} Examinateurs

THÈSE

présentée à la

Faculté des Sciences de l'Université de NANCY

pour obtenir

le Titre de Docteur - Ingénieur

par

Davoud PARSA PAJOUH

Contribution à l'étude de la qualité du bois de Fagus orientalis de trois stations de la forêt de l'ELBOURZ au moyen d'essais classiques sur éprouvettes normalisées et d'analyses densitométriques de radiographies.

Soutenance le 16 Juillet 1970

Commission d'examen

MM. P. MANGENOT... Président

H. POLGE.....
J.VENET.....
J. DEXHEIMER.
} Examinateurs

UNIVERSITE DE NANCY

FACULTE DES SCIENCES

ANNEE SCOLAIRE 1969-1970

Doyen : M. AUBRY

Assesseur: M. GAY

Doyens honoraires: MM. CORNUBERT, ROUBAULT.

Professeurs honoraires: MM. RAYBAUD - LAFITTE - LERAY - JULY - LAPORTE - EICHBORN - CAPELLE - GODEMENT - DUBREUIL - L.SCHWARTZ - DIEUDONNE - LETORT - DODE - GAUTHIER - GOUDET - OLMER - CORNUDERT- CHAPELLE - GUERIN - WAHL.

Maîtres de conférences honoraires: MM. LEINHART - PIERRET.

Professeurs

MM.	URION	Chimie biologique		DUCHAUFOUR	Pédologie
	ROUBAULT	Géologie		GARNIER	Agronomie
	VEILLET	Biologie animale		NEEL	Chimie organique ind.
	BARRIOL	Chimie théorique		BERNARD	Géologie appliquée
	BIZETTE	Physique	*	CHAMPIER	Physique
	GUILLIEN	Electronique	*	GAY	Chimie biologique
	LEGRAS	Mécanique rationnelle		STEPHAN	Zoologie
	BOLFA	Minéralogie	*	CONDE	Zoologie
	NICLAUSE	Chimie	*	WERNER	Botanique
	FAIVRE	Physique appliquée		EYMARD	Calcul différentiel et intégral.
	AUBRY	Chimie minérale			
	COPPENS	Radiogéologie		FELDEN	Physique
	DUVAL	Chimie	*	GOSSE	Mécanique physique
	FRUNHLING	Physique	*	DAVOINE	Physique (ENSMIM)
	HILLY	Géologie		HORN	Physique
	LE GOFF	Génie chimique	*	ROCCI	Géologie
	SUHNER	Physique expérimentale	*Mme	LUMER	Maths.
	CHAPON	Chimie biologique		DELPUECH	Chimie physique
	HEROLD	Chimie minérale indust.	Mle	HUET	Analyse supérieure
	SCHWARTZ B.	Exploitation minière		BLAZY	Minéralogie appliquée
	MALAPRADE	Chimie		N.....	Chimie biologique
*	MANGENOT	Botanique		N.....	Mécanique appliquée
	GAYET	Physiologie		N.....	Méthode Mathématique de la physique
	HADNI	Physique			
*	BASTICK	Chimie		N.....	Mécanique rationnelle

* = Professeur titulaire à titre personnel.

Professeurs sans chaire

Mme	BASTICK	Chimie P.C. (Epinal)
M.M.	GUDEFIN	Physique
	VUILLAUME	Psychophysiologie
	FRENTZ	Biologie animale
	MARI	Chimie (I.S.I.N.)
	DEVIOT	Physique du solide
	FLECHON	Physique M.P.C.
	VIGNES	Métallurgie
	JURAIN	Géologie C.B.G.
	BALESDENT	Thermodynamique chimique appliquée (E.N.S.I.C.)
	JANOT	Physique P.C. (Epinal)
	CACHAN	Entomologie appliquée (E.N.S.A.)
	JACQUIN	Pédologie et chimie agricole.
	MAINARD	Physique M.P.
	MARTIN	Chimie P.C.
	PAULMIER	Mécanique expérimentale
	PROTAS	Minéralogie
	RIVAIL	Chimie appliquée (C.U.C.E.S)
	DEPAIX	Probalibités et statistiques.

Maîtres de Conférences

MM.	VILLERMAUX	Génie Chimique
	METCHE	Biochimie appliquée (brasserie)
	BAUMANN	Physique 1° Cycle
	DURAND	Physique
	GRANGE	Physique (ISIN)
	BAVEREZ	Chimie (ENSIC)
	CHAMBON	Exploitation Minière (Mines)
	HUSSON	Physique (ENSEM)
	WEISSLINGER	Physique
	GERL	Physique (ENSEM)
	ROQUES	Chimie Minérale
	FERRIER	Mathématiques
	GILORMINI	Mécanique flui. ISIN
	HILY	Mathématiques P.C.
	CASTRO	Chimie organique
	DEXHEIMER	Botanique
	NOVERRAZ	Mathématiques
	TOURET	Géologie
	N....	Maths appliqués
	N....	Mathématiques
	N....	Mathématiques
	N....	Mathématiques
	N....	Physiologie animale
	N....	Chimie (ENSIC)
	N....	Laiterie (Ecole Lait.)
	N....	Chimie organique
	N....	Maths appliquées

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM. AMARIGLIO - COEURE - DAVRAINVILLE - GIRARDEAU - OVAERT - BUYER - WEBER - PUJOL - SCHREIBER.

Je suis heureux d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur MANGENOT F. qui a bien voulu accepter la Présidence du Jury de cette thèse et a facilité ma tâche, ainsi qu'à Monsieur DEXHEIMER J. Membre du Jury.

Je tiens à remercier Messieurs :

- POLGE H. Directeur de la Station de Recherches sur la Qualité des Bois, qui m'a dirigé tout au long de ce travail et grâce à qui j'ai pu surmonter les difficultés et aboutir dans mes recherches,

- VENET J. qui m'a initié dans le domaine du bois et dont la bienveillance m'a toujours encouragé,

- JACAMON M. qui m'a fait découvrir l'anatomie de l'arbre,

- KELLER R. pour ses conseils et sa précieuse collaboration.

Je n'aurais garde d'oublier dans mes remerciements Messieurs JANIN G., THIERCELIN F., Mesdames GARROS S., JACQUEMOT G., Monsieur MICHEL P., ainsi que toutes les personnes qui travaillent à la Station de Recherches sur la Qualité des Bois.

Ma reconnaissance va également à Monsieur DINARD A. Responsable des étudiants étrangers, et à tous les membres et personnel du Centre de NANCY de l'E. N. G. R. E. F.

J'adresse ma profonde gratitude à Monsieur TREGUBOV V. ancien Directeur du projet F. A. O. en Iran, aux personnes de la Faculté Forestière de KARADJ, et enfin à Monsieur HAGHIGHI H., grâce à qui j'ai pu récolter le matériel d'essai.

Je tiens à remercier mes amis qui m'ont rendu des différents services au cours de ce travail.

TABLE DE MATIERES

	PAGE
AVANT- PROPOS	
1 - GENERALITES	1
I.1 - Revue de littérature sur les hêtrais de l'Elbourz.	1
1.2 - Station étudiée	2
1.3 - Orientation de la présente étude	6
2 - MATERIEL ETUDIE ET METHODES.	9
2.1 - Matériel	9
2.1.1. - Echantillonnage dans la forêt	9
2.1.2. - Echantillonnage à l'intérieur des billons	12
2.2. - Méthode d'essais	14
2.2.1. - Essais mécaniques	15
2.2.2. - Essais physiques	23
2.2.3. - Radiographie et mesure des composantes de la densité	26
2.2.4. - Les méthodes statistiques	32
3. - PRESENTATION DES RESULTATS RELATIFS AUX PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES	34
3.1. - Valeurs moyennes individuelles	34
4. - PRESENTATION DES RESULTATS RELATIFS AUX ETUDES RADIOGRAPHIQUES DE CINQ ARBRES	41
4.1. - Valeurs moyennes individuelles	41
5. - ETUDES DES CORRELATIONS ENTRE LES DIVERSES VARIABLES	44
.1. - Etude particulière des coefficients de corrélations entre les diverses variables à l'intérieur de cinq arbres.	44
5.1.1. - Corrélation entre la largeur de cernes et les autres caractères.	44
5.1.2. - Corrélation entre l'infradensité et les autres caractères.	50
5.1.3. - Corrélation entre la flèche de rupture en flexion statique et les autres caractères.	54
5.1.4. - Corrélation entre la charge produisant une déformation égale 3 % de la portée et les autres caractères.	57

PAGE

5.1.5. - Corrélation entre la charge de rupture en flexion statique et les autres caractères. 60

5.1.6. - Corrélation entre le module d'élasticité et les autres caractères. 63

5.1.7. - Corrélation entre la charge en compression axiale et les autres caractères. 65

5.1.8. - Corrélation entre la dureté et les autres caractères. 67

5.1.9. - Corrélation entre les différents retraits et les autres caractères 69

5.1.10. - Corrélation entre les composantes de la densité et les autres caractères. 72

5.2. - Hiérarchie des divers caractères explicatifs 74

5.3. - Etude générale des coefficients de corrélation entre les moyennes de diverses variables sur l'ensemble de 25 arbres. 77

6. - COMPARAISONS DE MOYENNES ET CLASSEMENT DES ARBRES ETUDIE POUR LES DIVERSES CARACTERISTIQUES. 85

6.1. - Comparaisons de moyennes. 85

6.2. - Classement des arbres. 89

7. - QUALIFICATION DES TROIS STATIONS A, B, et C. A PARTIR DES CARACTERISTIQUES DENSITROMETRIQUES. 92

7.1. - Présentation des résultats. 92

7.2. - Comparaison de moyennes. 95

7.3. - Classement des trois stations. 96

CONCLUSION 99

ANNEXE I - Tableau 1, pourcentage des vaisseaux pour les cernes n°1 et 2.
Relevé de la parcelle 14.

ANNEXE II - Tableaux des coefficients de corrélation (5, 6, 7, 8, 9, 21, 23)

ANNEXE III - Droites de régression.

ANNEXE IV - Tableaux de comparaisons de moyennes

Bibliographie.

AVANT PROPOS

Les études que nous présentons dans les pages suivantes concernent un ensemble de recherches technologiques sur le bois de Fagus orientalis.-LIPSKY, dont les résultats sont valables uniquement pour les hêtraies de la partie ouest de la Caspienne formées de forêts denses, situées sur des roches mères volcaniques et des sols acides.

La région étudiée fait partie des forêts de "NAVE" près de "ASSALEM" (où fonctionne actuellement une scierie de 100 m3 de capacité journalière).

La structure de cette forêt a été étudiée par DJAZIRES M.H. (1965) et c'est TREGUBOV V. (1965) qui en a décrit les associations végétales. L'analyse du sol a été faite par ZARIN-KAFCH M. et les données climatiques ont été extraites de l'oeuvre de SABETI H. (1969).

Nos recherches ont pour but, l'étude qualitative du bois de hêtre dans différentes stations, par une méthode rapide et à l'aide d'essais dits "non destructifs".

Pour atteindre cet objectif, nous avons fait un échantillonnage de 25 arbres à l'intérieur d'une parcelle dans l'une des stations située à 1250 m ; nous y avons débité les éprouvettes destinées aux essais mécaniques, physiques, et aux études radiographiques, et nous avons cherché à établir les liaisons qui existent entre les données quantitatives mesurées sur les radiographies et les caractéristiques mécaniques ou physiques. Nous avons fait un dexième échantillonnage en prenant seulement des carottes de sondage à l'aide d'une tarière de PRESSLER dans la station précédente et dans les deux autres à 1000 m et 750 m.

D'après les résultats de nos recherches, cette dernière méthode

.../...

peut nous renseigner très rapidement sur la qualité des peuplements, pour nous permettre de choisir une qualification et faire un classement des hêtraies de l'ELBOURZ, et rattraper ainsi les retards accumulés dans ce domaine.

Ces recherches ont été menées en 1969 - 1970, sous les auspices du Centre National de la Recherche Forestière à la Station de Recherche sur la Qualité des bois à NANCY.

I - GENERALITES.

1.1. - REVUE DE LITTERATURE SUR LES HETRAIES DE L'ELBOURZ

Les recherches dont il est rendu compte ici ont trait aux propriétés du bois d'un peuplement de Fagus orientalis LIPSKY, variété macrophylla de la forêt de "NAVE".

Cette espèce forme des peuplements assez importants dans l'Asie mineure, le Caucase, le nord de l'Iran (1), la Roumanie, la Bulgarie, la Macédoine et elle a été trouvée à l'état isolé et en groupes dans la région de la Serbie, en Yougoslavie (2).

Au nord de l'Iran, cette espèce constitue des peuplements denses entre 750 m, et 1900 m d'altitude (3), mais on peut la rencontrer jusqu'à 2250 m.

L'ensemble de ces peuplements forme une association dite "Fagetum-hyrcanum" = Fagetum elbursicum w. et K. USW, qui au point de vue association végétale présente une grande parenté avec les hêtraies de l'Europe et en particulier avec le Fagetum balkanique. Cependant il s'y trouve des espèces endémiques.

Selon TREGUBOV V. (4), le "Fagetum-hyrcanum" s'est localisé dans deux aires distinctes ;

1) - Sur les roches mères calcaires, le hêtre est toujours accompagné de Ruscus hyrcanus.woron. L'association est appelée "Rusco-Fagetum" ou encore Fagetum-ruscetosum d'après DJAZIREI M. H. (5)

2) - Sur les roches mères acides, l'association est dite "Arctostaphylos Fagetum" ; le hêtre y est accompagné de Vaccinium arctostaphylos ", et c'est ce dernier type qui constitue les forêts les plus riches du nord de l'Iran, où la hêtraie se présente à l'état climatique. Les courbes de fréquence y montrent un

.../...

état jardiné avec un excès de gros arbres qui, en général, ont pourri près de la souche. La station étudiée se rattache à cette association. L'importance économique de cette région de l'Iran et la densité de sa population justifient une étude de classement au point de vue qualité de ces forêts qui doit être faite en parallèle avec certains projets d'implantation industrielle.

1.2.- STATION ETUDIEE

1.2.1. - SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Cette station est située à 38°, 0 Lat. N et 48°, 50 Long. E au nord de l'Iran sur le versant nordique de l'ELBOURZ à 60 km de ASTARA, à une altitude de 1250 m. Elle se rattache à la parcelle 14 de la forêt de "NAVE" dans le district d' "ASSALEM" ; les localités les plus près sont : PICHESSOUN et GALAH-DAR-VAR-DEH.

1.2.2. - SITUATION GEOLOGIQUE :

En général les massifs de l'ELBOURZ sont constitués par des roches cristallines qui s'intègrent dans l'ensemble du système plissé alpin ; ils comprennent des massifs hercyniens avec des sédimentations très lacunaires. Ces massifs s'étalent en divergeant du noeud arménien vers l'est (6) et la localité où nous avons recherché des échantillons se trouve à peu près au commencement de cet embranchement.

1.2.3. - CLIMAT :

D'après la division climatique de GAUSSEN H., cette région se place dans la zone subméditérranéenne. La station la plus proche (ASTARA) présente les caractéristiques climatiques suivantes (7) :

P (moyenne de précipitations annuelles) = 1185,7 mm

M (moyenne des températures maximales du mois le plus chaud) = 30,5 ° c

.../...

M (moyenne des températures minimales du mois le plus froid) = 2,4 ° c

Q (coefficient d'EMBERGER) = 121

Y (indice xérothermique mensuel) = 23

C (coefficient de GORZINSKY) = 22,4

La courbe ombrothermique d'après la méthode de GAUSSEN. H. adaptée par SABETI. H. pour cette région est présentée en figure 1 ci-dessous :

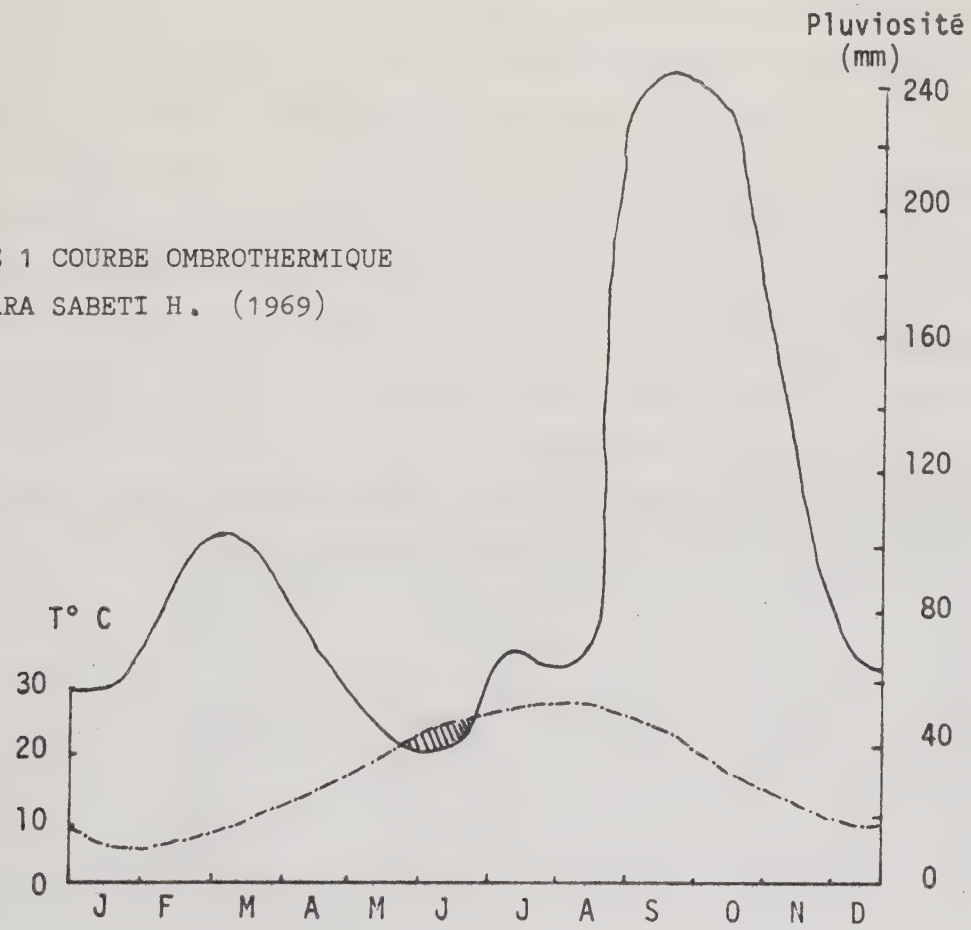


FIGURE 1 COURBE OMBROTHERMIQUE D'ASTARA SABETI H. (1969)

Mais en tenant compte que cette station est située à une altitude plus élevée qu' ASTARA, la température y est plus faible et les précipitations annuelles plus fortes. Dans la parcelle même on dispose des données météorologiques suivantes :

.../...

P = 1379 mm

M = 30,8° c

m = 1,3° c

humidité = 88 %

1.2.4. - SOL :

D'après l'analyse de sol faite par ZARINKAFCH (8) c'est un sol qui se classe dans les sols évolués et dans la sous-classe des sols bruns forestiers acides ; la majorité des racines des plantes se trouve dans l'horizon A, et quelquefois la distinction entre l'horizon A et B est très difficile ; dans l'horizon B se trouvent des morceaux de roche mère siliceuse. Le sol possède une texture argilo-limoneuse avec en moyenne 20 % de sable et entre 20 et 36 % de limon. La proportion d'humus est forte et varie de 2 à 3,4 %. La capacité d'échange est élevée : de 25 à 47 me/100 g. Les résultats d'analyse du sol pour la parcelle 14 d'après ZARINKAFCH (1969) sont présentés ci-dessous :

Horizon		A_1	A_2	B
Epaisseur cm		10	10	20
Couleur		5 YR 3/4	5 YR 4/4	7,5YR 4/4
PH		5,2	5,2	6,0
N %		0,25	-	-
C %		3,3	0,11	0,35
C/N		16	-	-
Af %		1,5	-	-
Ah %		1	-	-
Af/Ah		1,5	-	-
Fe %		0,5	0,5	0,5
libre me/100 g	Ca	2,5	5,0	12,0
	Mg	5	4	3
	K	0,55	0,15	0,17
	Na	0,8	0,5	0,63
S		8,5	9,6	15,8
T		25	19	25
S/T		36	55	63

.../...

1.2.5. - ASSOCIATION VEGETALE ET ASPECT DE LA FORET :

D'après les relevés qui ont été pris par TREGUBOV V. qui sont reproduits en annexe I, quand les feuilles du hêtre ne sont pas encore développées (à la fin du mois de mars) la forêt présente un aspect phénologique du printemps, qui est très typique. Il s'y trouve des fleurs printanières précoces.

Le peuplement a une structure jardinée avec excès de gros bois et un fort déficit de jeunes bois. En moyenne, il présente 100 hêtres à l'ha (5) et la distribution des catégories de grosseurs nous montre une courbe relativement régulière. (Voir figure 2 ci-dessous)

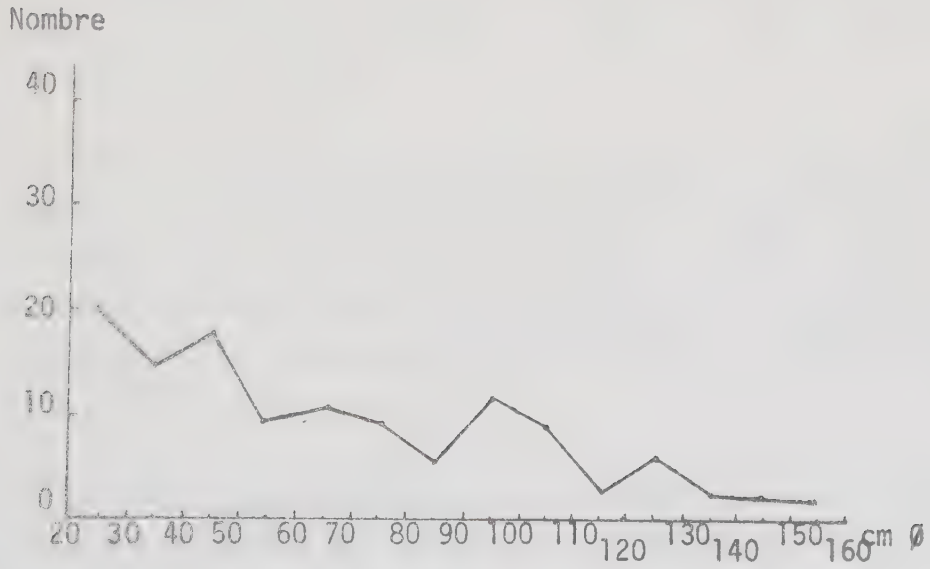


FIGURE 2 COURBE DE LA DISTRIBUTION DES CATEGORIES DE GROSSEURS
DJAZIREI. M. H. (1965) (corrigé par PARSA. D.)

.../....

1.3. - ORIENTATION DE LA PRESENTE ETUDE

En 1968 le travail que nous avons eu à faire à titre de D. E. A. a consisté en études de la structure anatomique de 6 essences Iraniennes (9). A cette occasion, nous avons pu nous rendre compte que la détermination du nombre et les dimensions des divers éléments anatomiques représentait un travail très important et necessitait des délais considérables. Pour le présent travail, nous avons eu l'intention d'étudier les relations entre la structure du bois et les diverses autres caractéristiques : résistance mécanique, propriétés physiques, etc...

Compte-tenu du grand nombre d'échantillons à étudier, le problème s'est posé de savoir si pour les études de structure du bois, les examens de coupes microscopiques ne pourraient pas être remplacés par des renseignements plus faciles à obtenir, et notamment par ceux qui peuvent être tirés des courbes de la variation de la densité du bois.

Dans ce but, nous avons pensé à comparer sur deux cernes de Fagus orientalis, d'une part le pourcentage de la surface des vaisseaux à la surface totale, d'autre part, les densités instantanées obtenues sur les profils densitométriques de ces mêmes cernes, étant donné que l'on pouvait a priori penser que la proportion des vaisseaux et la densité du bois étaient susceptibles d'être bien liées entre elles.

Le profil densitométrique, et la détermination de la proportion des vaisseaux ont été obtenus par des méthodes déjà décrites par ailleurs POLGE H. (1966) (10) et PARSA D. (1968) (9).

D'après les résultats donnés sur les figures 3 et 4 ci-après et le tableau (1) porté en annexe I , les deux courbes obtenues sont assez semblables en particulier dans le premier cerne étudié, la densité maximale et la densité

.../...

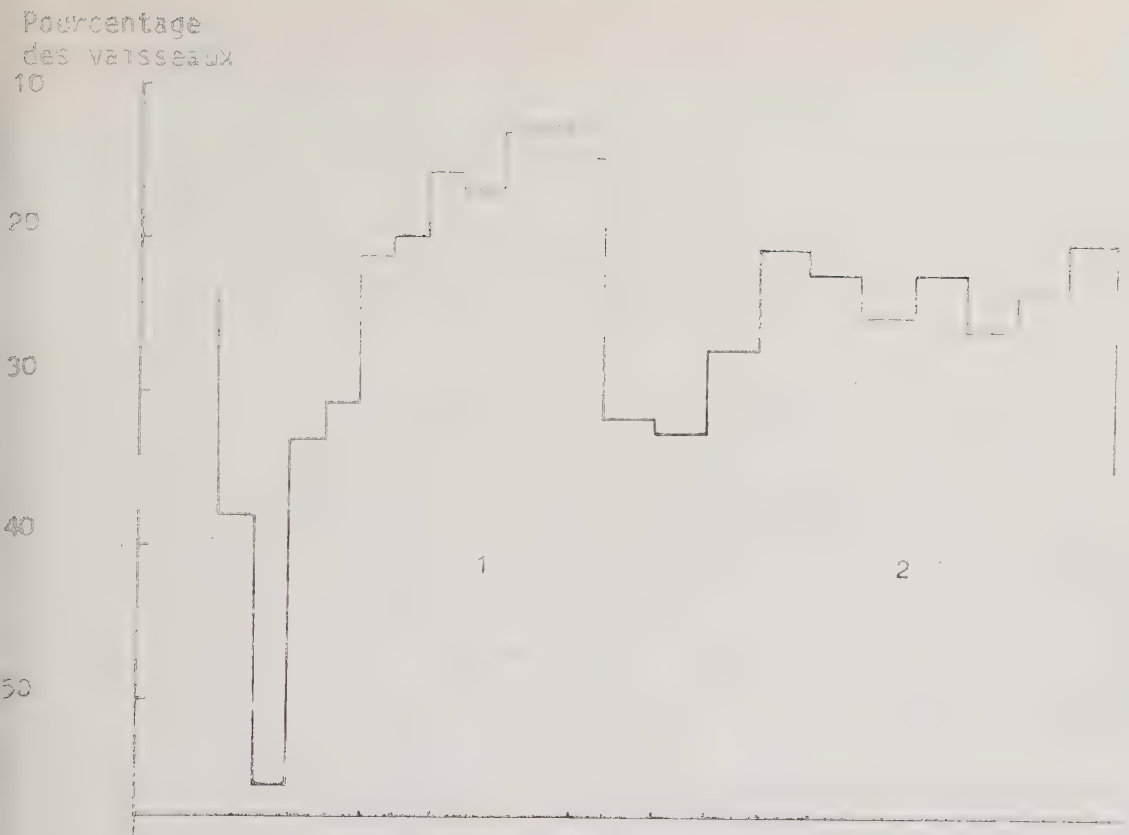


FIGURE 3

GRAPHIQUE DE LA VARIATION DU POURCENTAGE DE VAISSEAUX.

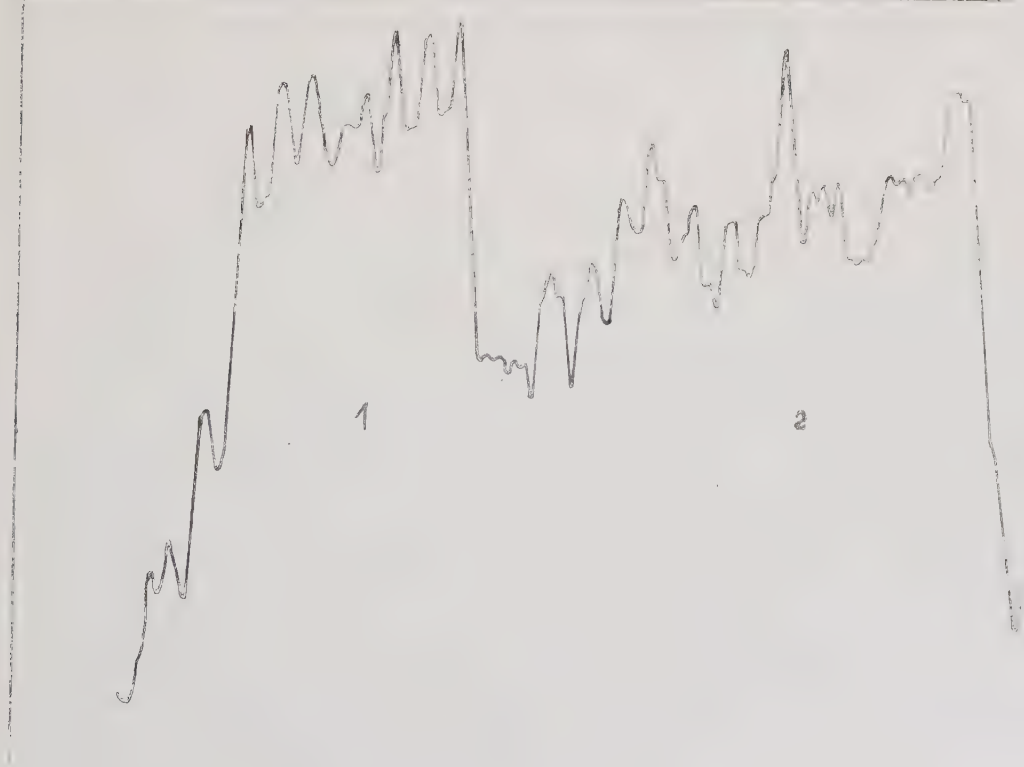


FIGURE 4

COURBE DE LA VARIATION DE LA DENSITE.

FAGUS ORIENTALIS

minimale sont respectivement plus forte et plus faible que dans le second,l'inverse étant vrai pour le pourcentage de vaisseaux qui est indiqué, dans un ordre croissant du haut vers le bas.

Nous avons déduit de ce premier essai, que les courbes densitométriques sont susceptibles de remplacer avantageusement les déterminations anatomiques, étant donné que le travail nécessaire pour les obtenir est beaucoup moins important, et que par ailleurs, grâce au pouvoir de résolution de la méthode, on obtient également des renseignements plus précis. Ainsi nous avons penser trouver des nouvelles caractéristiques sur les courbes densitométriques du bois qui pourraient aussi être en corrélation étroite avec les qualités de ce dernier. Déjà POLGE H. (1965) (10) a mis en évidence les relations qui existent entre les caractéristiques des courbes densitométriques du bois d'Abies grandis et les renseignements fournis par l'essai de flexion statique, et KELLER R. (1968) (11) a obtenu les fortes relations entre les caractéristiques densitométriques et ceux de mécanique du bois de douglas.

D'après ces remarques préliminaires et dans l'intention déjà décrite, nous avons fait un premier échantillonnage sur les 25 arbres d'une station dans une zone située à 1250 m d'altitude, nous avons déterminé sur éprouvettes normalisées aussi bien les caractéristiques physiques et mécaniques que les caractéristiques densitométriques du bois ; après avoir établi des relations entre les deux premières séries caractéristiques et les composantes de la densité de de l'éprouvette , nous avons fait un deuxième échantillonnage uniquement sur les arbres sur pied à l'aide de sondages à la tarière de PRESSLER, dans la première station et les deux autres situées à 1000 m, et 750 m, d'altitude. Dans chacune d'elles, 30 arbres ont été sondés et sur les échantillons recueillis, nous avons mesuré seulement les caractères densitométriques afin d'estimer la qualité du bois selon les relations déjà trouvées.

Nos essais ont portés sur quelques 900 éprouvettes normalisées de

.../...

34 cm x 2 cm x 2 cm qui ont été tirées des 25 billons provenant de la première station déjà décrite ainsi que sur 90 carottes de sondage.

Sur chaque éprouvette nous avons déterminé 23 variables qui résultent de trois types d'essais différents :

1.3.1. - ESSAIS MECANIQUES FOURNISSANT LES RENSEIGNEMENTS SUR :

La flexion statique
La compression axiale
La traction perpendiculaire au fil du bois (dans deux directions)
La dureté
La résistance au choc

1.3.2. - ESSAIS PHYSIQUES FOURNISSANT LES RENSEIGNEMENTS SUR :

L'infradensité
La largueur des cernes
La rétractibilité linéaire dans 3 directions et entre 3 états (saturé-sec à l'air-anhydre)

1.3.3. - ESSAIS RADIOGRAPHIQUES FOURNISSANT LES RENSEIGNEMENTS SUR : la densité maximale en g/dm3
la densité minimale en g/dm3
le pourcentage de la longueur radiale où le biais a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3

1.3.4. - ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

D'une part, l'étude des résultats et les calculs de corrélation nous ont permis d'établir des liaisons entre les informations fournies par les diverses mesures. Les renseignements que l'on en tire nous permettrons d'étudier et de porter un jugement sur les deux autres stations

.../...

de cette même forêt en faisant pour trente arbres de chacune d'entre elles uniquement l'analyse densitométrique des carottes correspondantes (à raison d'une carotte par arbre).

D'autre part, les tests de DUNCAN ont servi à classer les uns par rapport aux autres, les différents arbres pour chacune des caractéristiques mesurées (à l'intérieur de la station) ; les trois stations A, B et C ont également été classés les unes par rapport aux autres à l'aide de ce même test.

2 - MATERIEL ETUDIE ET METHODES.

2.1. - MATERIEL.

2.1.1. - ECHANTILLONNAGE DANS LA FORET.

2.1.1.1. - Premier échantillonnage.

Après abattage des arbres nous avons tiré de chacun d'eux à hauteur d'homme un billon de 45 cm de longueur ; nous l'avons divisé longitudinalement en deux demi-billons, pour ne conserver que celui qui était exempt de bois de tension, (le trait de scie ayant été fait parallèlement à la ligne de niveau) ; sur chaque demi-billon nous avons pris une carotte de sondage de façon que l'axe de la tarière soit perpendiculaire aux cernes annuels. A cause d'un enneigement exceptionnel, et donc de l'impossibilité d'accèder dans la forêt, nous ne disposons pour chaque arbre que des renseignements suivants pente, versant, altitude et diamètre qui sont donnés dans le tableau suivant page (10).

Numéro de l'arbre	Altitude m	Pente %	Versant	Diamètre cm	Numéro de l'arbre	Altitude m	Pente %	Versant	Diamètre cm
1	1230	40	N.E	50	14	1200	40	N	40
2	"	35	N.	45	15	1180	50	N.E	45
3	1200	50	"	35	16	1150	50	N	55
4	1250	30	"	40	17	1180	40	N.E	45
5	1230	30	"	40	18	1200	"	N.E	45
6	1200	20	"	40	19	1200	"	N.E	65
7	1180	50	"	45	20	"	"	N.E	50
8	"	85	"	45	21	"	35	N	45
9	"	80	"	45	22	1230	40	"	55
10	"	"	"	50	23	"	50	"	50
11	1200	40	N.E	50	24	"	30	"	50
12	"	30	"	40	25	"	"	"	50
13	"	40	N	40					

2.1.13 . - Notre deuxième échantillonnage est constitué par des carottes de sondage, toujours prélevées à hauteur d'homme, sur les arbres vivants de 3 stations A, B, et C situées respectivement sur des bandes à 750 m, 1000 m, et 1250 m. d'altitude dans la même forêt. Cet échantillonnage est effectué à raison de 30 pour chaque bande et à un intervalle de 50 m. entre les arbres. Dans le tableau (voir page suivante) sont indiqués le diamètre et les caractéristiques de chaque station pour chacun des arbres sondés.

.../...

Numéro de l'arbre	Station A 750 m			Numéro de l'arbre	Station B 1000 m			Numéro de l'arbre	Station C 1250 m		
	Versant	Pente %	Diamètre cm		Versant	Pente %	Diamètre cm		Versant	Pente	Diamètre cm
1	E	45	55	1	E	35	45	1	N.E	40	50
2	E	65	50	2	N.E	50	50	2	N	30	40
3	N.E	55	60	3	E	60	50	3	N	50	45
4	N	35	55	4	E	60	50	4	N	80	45
5	E	45	60	5	E	70	60	5	N	50	55
6	N	100	50	6	O	60	50	6	N.E	40	50
7	E	75	60	7	O	70	55	7	S	35	50
8	S	60	50	8	N.E	70	35	8	S	35	45
9	E	60	50	9	E	35	40	9	N	45	55
10	E	30	50	10	O	65	50	10	N	60	60
11	E	55	55	11	N.O	30	55	11	N	80	40
12	E	50	55	12	N	85	55	12	N.O	90	45
13	E	65	50	13	N	110	55	13	N.O	90	45
14	E	45	40	14	O	50	50	14	N	30	50
15	E	50	40	15	N	40	55	15	S	45	55
16	E	55	50	16	E	100	55	16	S	55	45
17	E	55	45	17	E	70	40	17	S	85	40
18	E	55	50	18	E	50	40	18	S	50	45
19	E	35	55	19	E	60	50	19	S	65	50
20	E	45	45	20	E	60	50	20	S	65	65
21	E	50	50	21	N	70	55	21	S.E	65	50
22	E	45	55	22	N	55	45	22	O	65	45
23	E	40	55	23	N	40	45	23	O	60	50
24	E	55	60	24	N	45	50	24	S	40	55
25	E	35	45	25	N	50	50	25	N.O	50	55
26	E	65	50	26	N	65	35	26	N.O	90	50
27	E	60	50	27	N	70	40	27	S.O	65	45
28	E	45	50	28	N	70	55	28	S	55	55
29	E	40	50	29	N	85	45	29	S	40	50
30	E	35	50	30	N	70	55	30	S	35	45

.../...

2.1.2. - ECHANTILLONNAGE A L'INTERIEUR DES BILLONS.

L'échantillonnage à l'intérieur des billons a consisté à prendre des éprouvettes d'essais parallélépipédiques dont deux faces latérales sont aussi parfaitement tangentielles que possible, les deux autres radiales et les deux extrémités leur étant perpendiculaires. Ceci exige une préparation préliminaire sur les demi-billons ; le repérage, le traçage et le numérotage des éprouvettes par ordre croissant, en allant de l'écorce vers la moëlle. La figure 5 ci-après représente ce mode de numérotation.

2.1.3. - EPROUVETTES D'ESSAIS.

Les dimensions des éprouvettes utilisées pour les essais font l'objet de la norme N. F. B. 51 - 003 (12). Par exemple pour les essais de flexion statique et de choc, nous avons utilisé respectivement des éprouvettes de type C et D qui ont les dimensions suivantes :

34 cm x 2 cm x 2 cm. et 30 cm x 2 cm x 2 cm.

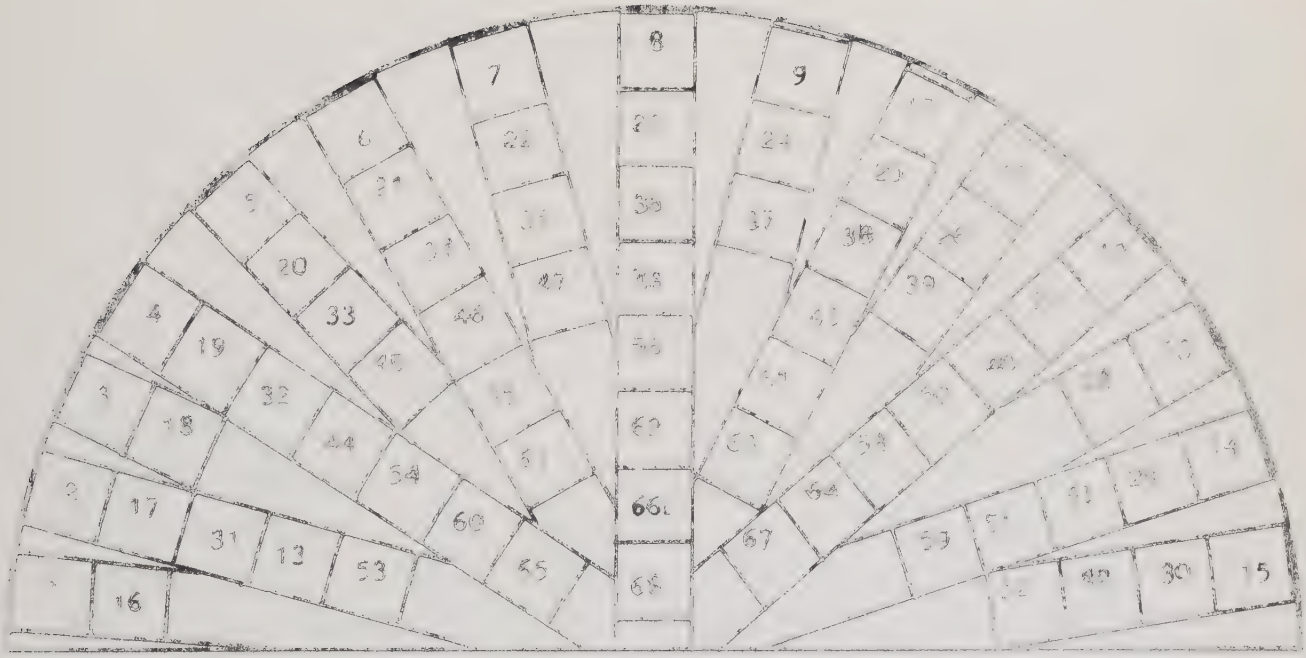
Les éprouvettes des essais de compression axiale, dureté, traction, des mesures de retrait, densité, humidité, et celles qui furent radiographiées, sont tirées des parties non affectées par les deux premiers essais de flexion statique et de choc.

Afin d'obtenir les échantillons de 34 cm x 2 cm x 2 cm au moment des essais effectués (12 % d'humidité), nous avons débité les éprouvettes à 34 cm x 2 cm x 2 cm, alors qu'elles étaient encore gorgées d'eau (30 % d'humidité au plus).

En supposant un coefficient hypothètique de retrait pour cette espèce de 0,4 pour la face tangentielle et 0,2 pour la face radiale (Vt et Vr) et en tenant compte de la formule :

$$Lt = 20 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm} \times Vt\ (0,30 - 0,12)}{100}$$

FIGURE 5 – PRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA NUMERATION DES [illegible] SUR UN DEMI-PILLOW



dans laquelle : Lt = dimension de la face tangentielle à 30 % d'humidité,
Lr = dimension de la face radiale à 30 % d'humidité,
Vt = coefficient de retrait tangentiel,
Vr = coefficient de retrait radial,

nous trouvons les dimensions à prendre, Lt et Lr, qui sont respectivement de 21,4 et 20,7 mm. Pour tenir compte du rabotage nous avons retenu Lt = 24 mm et Lr = 24 mm lors du débit à l'état vert.

Finalement les dimensions des éprouvettes pour les différents essais sont les suivantes :

Flexion statique	34 cm x 2 cm x 2 cm	type	C	NF B 51 - 003	
Choc	30 cm x 2 cm x 2 cm	"	D	"	"
Compression axiale	6 cm x 2 cm x 2 cm	"	B	"	"
Dureté	6 cm x 2 cm x 2 cm	"	B	"	"
Traction perpendiculaire aux fibres			E	"	"
- Parallèle aux rayons	7 cm x 2 cm x 2 cm		E_1	"	"
- Perpendiculaire aux rayons			E_2	"	"
Rétractibilité et humidité	2 cm x 2 cm x 2 cm		A	"	"
Densité	2 x 2 x 0,7	D'après les dimensions utilisées pour les expériences de la station de recherches sur la qualité du bois.			
Radiographie	2 x 2 x 0,7				
Carottes de sondage	5 mm de diamètre				

Nous avons également évité des facteurs qui pouvaient être la cause de résultats aberrants tels que : les noeuds, les cernes obliques et éliminé les éprouvettes qui ne s'accordaient pas aux définitions déjà données. Après le débit, toutes les éprouvettes ont été mises à sécher à une température de 20° c et après 10 jours, elles ont atteint l'état d'équilibre (environ 12 % d'humidité).

.../...

La figure 6 ci-après présente schématiquement le mode d'échantillonnage et la forme des éprouvettes.

2.2. - METHODES D'ESSAIS :

Nos essais comprennent trois étapes différentes dont il résulte en tout 23 variables pour chacune : une fois les éprouvettes soumises aux essais de flexion statique ou de résistance au choc, on a divisé leurs parties intactes en fragments destinés aux essais ultérieurs.

Ainsi tous les fragments provenant d'essais statiques et d'essais dynamiques portent le même numéro sur la face tangentielle que les éprouvettes initiales les ayant subis ; ce sont d'ailleurs les numéros enregistrés sur les demi-billons.

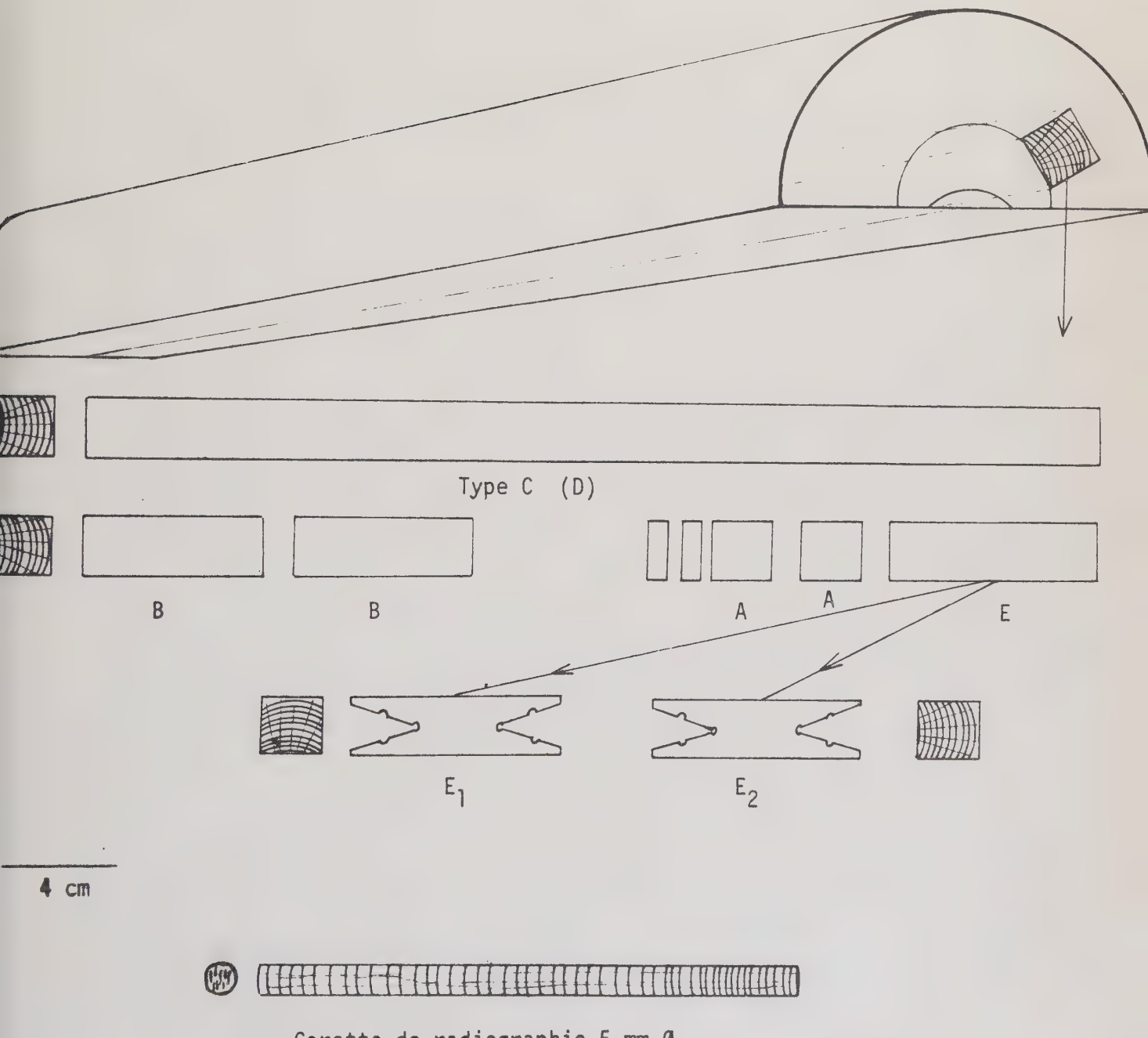
Avant chaque essai mécanique, nous avons mesuré les dimensions radiales et tangentielles, noté l'aspect général des éprouvettes et, à la fin de l'essai, la forme de la rupture et l'aspect de la cassure.

A la suite des essais mécaniques, nous avons déterminé le taux d'humidité du bois par deux pesées : la première (PH) est effectuée sur les échantillons sec à l'air et la seconde (Po) après passage de ces échantillons dans l'étuve à 102,5° c $\pm$ 2. Par la formule ci-dessous nous avons calculé le pourcentage d'humidité (H) :

$$H = \frac{PH - Po}{Po} \times 100$$

Nous avons ainsi pu traiter environ 30 éprouvettes par jour.

FIGURE 6 : PRESENTATION SCHEMATIQUE DE L'ECHANTILLONNAGE



Carotte de radiographie 5 mm Ø

2.2.1. - ESSAIS MECANIQUES

2.2.1.1. - Flexion statique.

L'appareil qui a servi à faire nos essais est une machine d' AMSLER convenant pour les petites pièces dont nous empruntons la description à la thèse de VENET J. (1958) (13).

"Elle est constituée par un fléau, terminé par deux appuis, capable "de s'élever verticalement sous l'action d'une presse hydrolique, tandis que le "couteau central reste fixe. Un dynamomètre, à plusieurs démultiplications, équi-"libre la pression d'huile et mesure les charges supportées par la pièce (charges "qui peuvent aller jusqu'à dix tonnes). Les déplacements du dynamomètre se lisent "sur un cadran gradué et se transmettent à une réglette horizontale portant un "crayon. Les déplacements verticaux du fléau se lisent également sur le cadran "gradué en mm et, par l'intermédiaire d'une cordelette, se transmettent à un "tambour enregistreur devant lequel se déplace le crayon du dynamomètre. Sur ce "tambour enregistreur peuvent donc s'inscrire des graphiques donnant, en abscis-"ses, les charges et en ordonnés les flèches. On règle le débit de la pompe à "l'huile pour que la vitesse d'ascension du fléau soit toujours la même au cours "des essais (20 mm par minute). Cette machine à l'avantage de donner directement "des diagrammes continus et de possèder des cadrans faciles à lire. Sa mise en "oeuvre est simple et les essais sont exécutés rapidement".

Le mode opératoire est précisé par la norme AFNOR B 51 008 : on règle le contre-poids de la machine et le cadran sur une tonne, et les appuis cylindriques horizontalement à 28 cm d'écartement. L'effort de flexion sur l'éprouvette s'exerce au milieu de la portée en un seul point par un couteau cylindrique, de même forme et de même dimension que les appuis (15 mm de rayon), dans le sens tangentiel par rapport aux couches annuelles.

L'avancement du couteau est réglé à environ 5 mm de flèche par minute. On décharge la portée lorsqu'il y a une dépression de 100 kg par rapport à la charge maximale.

2.2.1.1.1. - Essais de résistance à la rupture.

Pour cette propriété nous avons mesuré 4 variables dont les trois suivantes ont été lues au moment des essais :

- charge à 8,4 mm, lorsque la flèche est égale à 3 % de la portée, en kg/cm2.
- charge de rupture en kg/cm2
- flèche à la rupture en mm.

2.2.1.1.2. - Calcul du module d'élasticité.

Pour le module d'élasticité, le calcul a été fait sur la courbe enregistrée au cours de l'essai. On sait que l'elasticité d'un corps signifie que la déformation produite par une faible charge disparaît lorsque cette charge elle-même cesse d'être exercée.

L'élasticité des corps solides est caractérisée par une certaine limite de charge, au delà de laquelle survient la limite de la déformation permanente.

La loi exponentielle suivante est valable pour tous les matériaux de construction à l'exception du marbre et de caoutchouc : selon BACH C. ; et BAUMANN R. (1923)

$$\varepsilon = \alpha \sigma^{n} \quad \text{où} \quad \varepsilon = \frac{\text{élongation}}{\text{portée originelle}} = \frac{\Delta l}{l}$$

ε est déformation relative,

σ la charge,

α et n les constantes du matériel étudié.

D'après des expériences déjà anciennes, n = 1 pour le bois, l'aluminium

.../...

et l'acier ; on obtient ainsi la loi de HOOKE R. (1678) : dans la zone d'élasticité, la déformation ε est proportionnelle à la charge : $\varepsilon = \alpha\sigma$ d'où l'on tire $\alpha = \frac{\varepsilon}{\sigma}$, α est la déformation par unité de charge. En pratique, on utilise la valeur inverse,

$$\frac{1}{\alpha} = E$$

E est appelé le module d'élasticité ou module de YOUNG. C'est la charge hypothétique qui doublerait, si c'était pratiquement possible, la longueur d'un corps en déformation élastique. Il est possible qu'une charge appliquée pendant un temps court produise une déformation élastique, alors que cette même charge, maintenue longtemps, conduise à une déformation permanente.

Dans le cas du bois, si la déformation devient grande, la structure des membranes de ses éléments change et la déformation devient au bout d'un certain temps irréversible.

Ainsi il est très important de connaître les relations existant entre les déformations et la charge appliquée sur le bois. Pour calculer le module d'élasticité du bois, il y a différentes méthodes qui conduisent à des résultats divergents. Par exemple : KOLLMANN F.P. et KRECH H., (1960) (14) ont trouvé les chiffres suivants pour le chêne et l'épicéa :

Tableau de comparaison des modules d'élasticité longitudinaux chez l'épicéa et le chêne obtenus par la méthode vibratoire et la méthode de la flexion statique. (voir page suivante)

Propriétés	Unités	Epicéa		Chêne	
		Valeur moyenne	Coefficient de variation en %	Valeur moyenne	Coefficient de variation en %
Densité	g/cm3	0,501	2,3	0,653	
Evt	kg/cm2	161.800	3,6	115.800	11,7
Evtc	"	178.800	3,6	123.000	11,7
Evl	"	180.500	3,9	125.500	12,1
Efs	"	151.400	4,0	110.500	10,4
Efsc	"	171.000	4,0	1180.400	10,4

Evt = mod. d'élasticité obtenu de la méthode des vibrations transversales.
Evtc = Evt après correction de l'influence de l'effort de cissaillement.
Evl = mod. d'élasticité obtenu de la méthode des vibrations longitudinales.
Efs = mod. d'élasticité obtenu de la méthode de la flexion statique.
Efsc = Efs après correction de l'influence de l'effort de cissaillement.

La méthode vibratoire est simple et très rapide, mais elle exige des instruments électroniques. Aussi nous avons calculé ce module d'après la courbe enregistrée sur la machine d'AMSLER. C'est une méthode assez rapide ; elle consiste à mesurer directement le rapport de la charge à la flèche à la limite d'élasticité. Comme la figure 7 (page 19) le montre, la partie en-dessous de la tangente à la limite élastique représente de l'énergie potentielle, c'est-à-dire du travail récupérable, et c'est la partie où l'on peut mesurer l'élasticité du matériel étudié. (15)

La mesure de la pente de cette tangente nous permet d'obtenir le module d'élasticité.

.../...

La tangente β à la limite élastiquement :

$$tg\ \beta = \frac{a}{b} = \frac{\text{charge}}{\text{flèche}}$$

Le rapport est d'autant plus grand, et le bois plus élastique, que la pente de cette droite OE est plus forte.

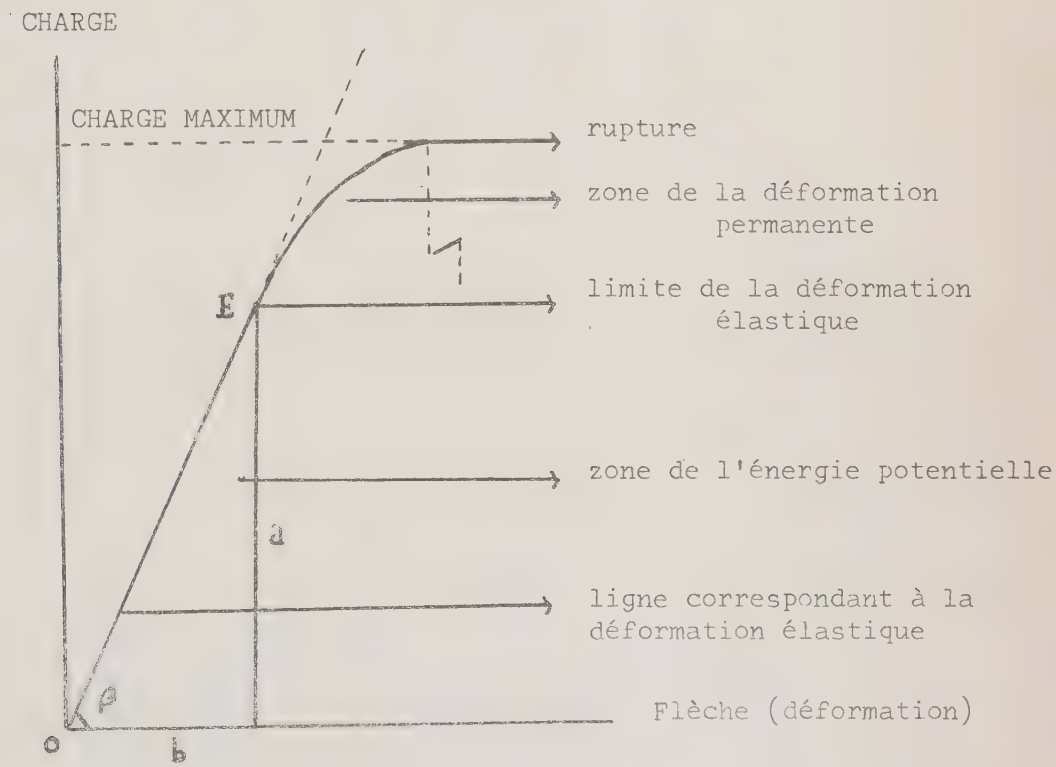


FIGURE 7 : SCHEMA THEORIQUE D'UN ESSAI EN FLEXION STATIQUE

D'après nos vérifications sur les courbes obtenues, nous avons vu qu'en général la partie élastique de Fagus orientalis est située en-dessous de la tangente correspondant à une flèche égale à 1/6 de la flèche maximale. Si l'on appelle f la flèche à la charge P, le module d'élasticité s'exprime suivant la formule ;

.../...

$$E = \frac{P}{f} \times \frac{L3}{4\ ab3} = \frac{P}{f} \times \frac{21952}{64} = \frac{P}{f} \times 343$$

car L = 28 cm, a = 2 cm, b = 2 cm.

Cette formule est théorique et ne rend pas compte de l'anisotropie du bois chez qui la résistance à la traction est différente de la résistance à la compression, ce qui entraîne, qu'en flexion la fibre neutre n'est pas confondue avec sa fibre moyenne.

Si nous considérons l'échelle des abscisses et des ordonnées de nos enregistrements, 3,3 en abscisses = 10 mm de flèche réelle

0,2 cm en ordonnées = 10 kg de charge réelle.

$$E = \frac{P}{f} \times 343 \times 165 = 56595 \times \frac{P}{f} \quad \text{or } \frac{P}{f} = \text{tg } \beta$$

donc $E = 56595 \times \text{tg } \beta$

A titre d'exemple, nous avons analysé sur la figure 8 ci-dessous la courbe de flexion de l'éprouvette numéro 27 de l'arbre numéro 23 sur laquelle :

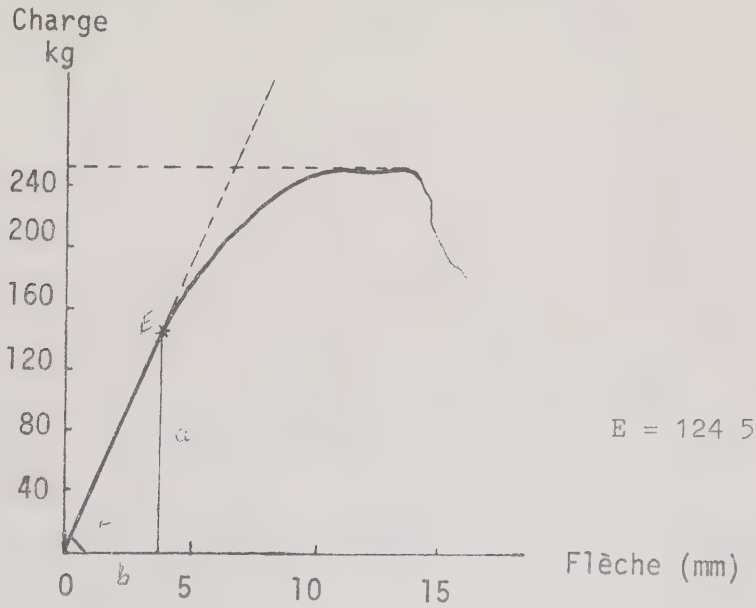
$E = K.\ \text{tg } \beta$

$\text{tg } \beta = \frac{20}{9} = 2,2$

$K = 56595$

$E = 56595 \times 2,2$

$E = 124509$ kg/cm2.



$E = 124\ 509$ kg/cm^2

FIGURE 8 :

EXEMPLE DE COURBE D'ESSAI EN FLEXION STATIQUE DE Fagus Orientalis
(éprouvettes N° 27 de l'arbre n° 23).

2.2.1.2. - Essai de dureté :

Cet essai est effectué par la machine d'AMSLER sur les éprouvettes de 6 cm x 2 cm x 2 cm. Nous avons mesuré la dureté de flanc selon la norme NF 51-013.

L'effort s'exerce perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'éprouvette et dans le sens tangentiel.

La méthode consiste à mesurer la largeur de l'empreinte laissée sur le bois par le papier-carbone interposé entre le couteau central et la face radiale de l'éprouvette soumise à une charge de 200 kg pendant 5 secondes. Cette largeur est inversement proportionnelle à la dureté de flanc, les éprouvettes les plus dures portant l'empreinte la moins large. Le résultat de cet essai est exprimé à 0,1 mm près.

2.2.1.3. - Essai de résistance à la compression axiale :

Cet essai fait l'objet de la NF B 51 - 007 ; il consiste à écraser par compression des éprouvettes de 6 cm x 2 cm x 2 cm. Après avoir remplacé le couteau de la machine d'AMSLER par un plateau de 6,5 cm de diamètre et réglé le contre-poids et le cadran pour une charge de 5 tonnes, on fait exercer la force de compression dans le sens parallèle aux fibres.

La charge augmente d'une façon uniforme pendant l'essai, de 200 à 300 kg/cm2 par minute jusqu'une dépression de 50 kg/cm2 par rapport à la charge maximale. Nous avons mesuré la charge maximale à 10 kg/cm2 près.

2.2.1.4. - Essai de résistance à la traction perpendiculaire au fil du bois.

Cet essai exige les éprouvettes de type E

.../

assez compliquées et difficile à réaliser ; nos essais portent sur 700 éprouvettes provenant de celle des essais en flexion statique.

Pour ce type de mesures, nous nous sommes servis d'une machine F. A. C. O. M. qui était destinée à des essais de traction de tissus, toiles, toiles, cuivre et amiante.

Nous avons adapté celle-ci pour les essais en traction perpendiculaire aux fibres du bois en changeant le contrepoids et en faisant un nouvel étalonnage à l'aide d'un dynamomètre jusqu'à 300 kg (valeur suffisante pour la mesure de la résistance de nos éprouvettes, dans ce type d'essai).

La traction est produite manuellement en actionnant un volant qui provoque, au moyen de démultiplications et par l'intermédiaire de l'éprouvette, l'ascension, selon un arc de cercle, d'un contrepoids. Au fur et à mesure que ce dernier s'éléve, le moment de ce contrepoids augmente. L'éprouvette se rompt lorsque ses forces de cohésions sont insuffisantes pour résister à la tension qu'elle supporte. On peut lire alors sur l'arc de cercle gradué devant lequel se déplace le contrepoids, la valeur de la force en kg appliquée sur l'éprouvette.

2.2.1.5. - Essai de résistance à la flexion dynamique (choc).

Cet essai fait l'objet de la norme NF 51 - 009 sur les éprouvettes de type D (Fig. 6), la machine utilisée est appelée le mouton-pendule. Son principe est très simple : l'énergie utilisée résulte de la chute d'une hauteur de 1 m. d'une masse de 10 kg. Cette masse frappe, par l'intermédiaire d'un couteau cylindrique et avec une énergie de 10 kgm, l'éprouvette de façon que l'effort soit tangentiel et appliqué au milieu de sa portée. Après la rupture de l'éprouvette le pendule continue sa course jusqu'à

.../...

une certaine hauteur correspondant à l'énergie non utilisée. La lecture se fait donc par différence entre 10 kgm et cette énergie résiduelle qui n'a pas été utilisée.

2.2.2. - ESSAIS PHYSIQUES :

2.2.2.1. - Largeur des cernes :

Nous avons mesuré la largeur des cernes annuels à 0,1 mm près.

1) sur la section transversale de chaque éprouvette, soit à l'oeil nu, soit avec une loupe de grossissement 10, soit à l'aide d'un microscope binoculaire de grossissement 50.

2) sur les courbes densitométriques des carottes radiographiées.

2.2.2.2. - Densité globale :

Elle a été déterminée pour toutes les éprouvettes sous forme d'infradensité (rapport du poids anhydre au Volume Saturé) selon une méthode dérivée de celle de KEYLWERTH R. (1954) (16) et améliorée par POLGE H. (1963) (17). Cette méthode a le grand avantage d'éviter des déterminations de volumes et ne nécessite que deux pesées. Elle est fondée sur le fait que la matière ligneuse pure a une densité de 1,53 g/cm3, ainsi que l'avait mis en évidence STAMM dès 1929. Cette méthode permet d'obtenir directement l'infradensité $\frac{Po}{Vs}$ à l'aide de la formule suivante dans laquelle H max. représente le taux d'humidité maximale à la saturation intégrale :

$$\frac{Po}{Vs} = \frac{1}{H\ max + 0,653} \qquad (1)$$

Mais selon POLGE, il est préférable de faire intervenir directement les deux valeurs mesurées, c'est-à-dire le poids maximal de l'échantillon à la saturation intégrale, P max, et le poids anhydre, Po, du même échantillon.

.../...

$$\frac{Po}{Vs} = \frac{1}{\frac{P\ max}{Po} - 0,347} \qquad (2)$$

D'après POLGE cette formule peut aisément se démontrer comme suit :

Le volume saturé Vs, dans le cas de la saturation intégrale, est égal au volume de la matière ligneuse Vml augmenté du volume occupé par l'eau qui est lui-même numériquement égal au poids d'eau contenu par le bois et qui vaut P max - Po, puisque la densité de l'eau vaut 1.

$$\frac{Po}{Vs} = \frac{Po}{Vml + P\ max - Po}$$

or $Vml = \frac{Po}{1,53}$

$$\text{d'où } \frac{Po}{Vs} = \frac{Po}{Po\left(\frac{1}{1,53} - 1\right) + P\ max}$$

$$\frac{Po}{Vs} = \frac{1}{\frac{P\ max}{Po} - 0,347}$$

Pour obtenir la saturation maximale on utilise la méthode de KEYLWERTH, bien que dans ce procédé il y ait solubilisation de certaines matières, telles que tanins, certains hydrates de carbone, sels solubles, etc...

Mais d'une part, ces substances sont différentes des constituants membranaires qui sont probablement les facteurs essentiels de la qualité du bois, et d'autre part, POLGE (1963) a montré que cette solubilisation entraîne un départ de substances négligeable par rapport au poids des échantillons. Ainsi nous avons mesuré deux valeurs, P max (après 24 heures d'ébullition) et Po (après 24 heures de séchage à 102,5° c ± 2° c).

Nous avons exprimé la densité globale, calculée selon la formule (2), en g/dm3.

2.2.2.3. - Rétractibilité.

Dans la partie intacte des éprouvettes d'essais de flexion ou de choc, on a découpé des cubes de 2 cm x 2 cm x 2 cm suivant la norme NFB 51 - 006. Au centre des 6 faces de chaque cube, on a marqué à l'aide d'un pochoir des emplacements où l'on applique les pointes du comparateur, au cours des différentes mesures faites aux différents états de siccité.

Pour atténuer les erreurs dues à l'inégalité de la surface, on a fait les mesures en retournant face pour face le cube, la valeur retenue étant alors la moyenne de ces 2 mesures.
Ces dernières ont été faites sur ces cubes aux états suivants :

1) état humide (taux d'humidité supérieur au point de saturation des fibres), après avoir immergé les cubes pendant 48 heures dans l'eau.
2) état sec à l'air (c'est l'état normal du bois en équilibre avec l'état hygrométrique ambiant).
3) état anhydre (le bois est desséché à l'étuve à 102,5° c jusqu'à poids constant).

Les calculs ont été faits pour les trois directions, tangentielle, radiale, et axiale, par exemple, le retrait radial entre l'état sec à l'air et l'état anhydre s'exprime en pour cent rapporté à la dimension correspondant au plus sec des deux états considérés.

$$Rr = \frac{rh - ro}{ro} \times 100$$

- Rr = retrait radial
- rh = dimension radiale de l'éprouvette à l'humidité h
- ro = dimension radiale de l'éprouvette à l'état anhydre.

.../.

Les 9 traits obtenus nous ont fourni de précieux renseignements sur les utilisations possibles du bois de hêtre. Le retrait volumétrique en chaque état peut, bien entendu, être facilement obtenu avec une très faible erreur à partir de la somme des trois retraits.

Rv = Rr + Rt + Ra.

Rr = retrait radial

Rt = retrait tangentiel

Ra = retrait axial.

2.2.3. - RADIOGRAPHIE ET MESURE DES COMPOSANTES DE LA DENSITE.

Ces études ont consisté à déterminer : sur deux séries d'images radiographiques.

- la densité maximale
- la densité minimale
- le pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3.

Rappelons les bases théoriques de la méthode :

Quant un flux de rayons X d'intensité I traverse perpendiculairement à sa surface, un échantillon mince de bois d'épaisseur infiniment petite dx, l'intensité du faisceau transmis est, si l'on suppose la fraction du rayonnement absorbé proportionnelle à l'épaisseur de la couche absorbante diminuée d'une quantité dI, telle que :

$$\frac{dI}{I} = \mu_1 dX \qquad (1)$$

Le coefficient μ_1 qui dépend de la longueur d'onde du rayonnement et de la nature de l'échantillon absorbant, est désigné sous le nom de coefficient d'absorption linéaire, et représente la fraction [illegible]

par un volume de 1 cm3, lorsque le flux incident à une section de 1 cm2 POLGE H. (1965) (10).

D'après POLGE, pour un corps composé, de formule $X_aY_bZ_c$, on admet, et cette hypothèse est vérifiée, tout au moins d'une façon approximative, dans la plupart des cas, qu'un coefficient d'absorption moléculaire μ mol peut être défini à partir des coefficients d'absorption atomique des divers corps simples qu'il contient, tel que :

$$\mu_X = \frac{ax\mu_X + by\mu_Y + cz\mu_Z}{ax + by + cz} \qquad (5)$$

dans laquelle μx, μy, μz, sont les coefficients d'absorption des atomes X, Y et Z et x, y, z leur poids atomique. Si on connaît la composition centésimale en poids du corps composé, c'est-à-dire le pourcentage Px du corps X de coefficient d'absorption atomique μ_X etc... la formule devient

$$\mu_{mol} = \frac{Px\mu_X + Py\mu_Y + Pz\mu_Z}{100} \qquad (6)$$

Si l'on néglige, en première aproximation, les substances diverses : pigments, résines, protides ou matières minérales, qui ne représente qu'un faible pourcentage du poids total du bois, le coefficient d'absorption de la matière ligneuse peut-être calculé en utilisant les formules précédentes à partir de ceux des constituants principaux : la cellulose, les hémicelluloses et la lignine.

La composition centésimale en poids de la cellulose (formule globale simplifiée $C_6H_{10}O_5$), ainsi que à très peu de chose près, celle des hémicelluloses, (hexosanes, pentosane, et polysaccharides principalement) est :

.../...

C = 44 %

H = 6 %

O = 50 %

et celle de la lignine (formule simplifiée $C_9 H_9 O_3$, O C H 3)

C = 61 %

H 6 %

O = 33 %

et en utilisant la formule (c), on peut calculer le coefficient d'absorption massique de la cellulose et de la lignine à partir des coefficients atomiques de C, H, et O, tels qu'ils sont donnés dans les tables de VICTOREEN. (1950).

Pour une longueur d'onde de 1 Å, on obtient ainsi un coefficient d'absorption de 2,29 pour la cellulose et 1,97 pour la lignine. Pour un bois ayant une teneur en poids de 70 % en produits cellulosiques et dérivés et de 30 % en lignine, on peut calculer un coefficient d'absorption pour la matière ligneuse proprement dite :

$$\frac{\mu}{\rho}\,(\text{mat. ligneuse}) = \frac{70 \times 2{,}29 + 30 \times 1{,}97}{100} = 2{,}19$$

ρ = Densité du corps absorbant.

A cause des vides qui existent dans le bois, il faut tenir compte d'un "coefficient de remplissage", rapport de la densité du bois à celle de la matière ligneuse qu'on admet être constamment égal à 1,53.

Les rayons X sont obtenus à partir d'un tube à vide qui comprend d'un côté, une cathode dont le filament porté à incandescence émet des électrons par effet thermoionique, de l'autre, une anode ou anticathode qui joue le rôle de cible, sur laquelle vient frapper à grande vitesse le flux électronique, sous l'effet d'un champ électrique de sens constant. L'émission des rayons X

résulte du choc de ce flux contre l'anticathode.

1) Le pouvoir de pénétration de ces rayons émis dépend d'une part, de leur longueur d'onde, et celle-ci est gouvernée par la tension accélératrice (kV), d'autre part, de l'intensité du rayonnement, qui est fonction de l'intensité du courant électrique (mA).

2) L'absorption des rayons dépend de la densité et de l'épaisseur de l'échantillon traversé.

Enfin, la qualité de rayons X transmis est fonction aussi du temps d'exposition. Les rayonnements transmis impressionnent donc de façon différentielle le film radiographique au gélatino-bromure d'argent qui est placé sous les échantillons étudiés.

Pour lutter contre des effets perturbateurs tels que l'influence de la teneur en eau, de l'enveloppe du film radiographique, nous avons conditionné les éprouvettes radiographiques dans une étuve hygrométriques, réglée pour donner une humidité du bois de 10 %

Ces éprouvettes sont exposées dans une chambre noire, sur des fims nus (pour éliminer l'influence de l'enveloppe) de façon que les rayons X les traversent parallèlement au fil du bois.

Les caractéristiques d'exposition retenues pour nos échantillons ont été tirées du tableau suivant POLGE (1965), établi pour une distance de 2,5 m entre la source et le film. Cette distance inhabituelle étant choisie de façon à avoir une dose de RX uniforme sur toute la surface des films 18 x 24 cm utilisé et également à obtenir un faisceau parallèle, seul capable de donner une image nette de tous les accroissements annuels qui eux, mêmes sont parallèles entre eux.

.../...

Epaisseur en mm	Tension accélératrice en kV	Intensité I du flux électronique en mA	Temps d'exposition	Quantité d'électricité I.t en mA.s	Logarithme de I.t
1	9	20	4 h 30 mn	3.132.000	6,49.582
2	11	20	2 h 30 mn	180.000	5,25.527
3	12,5	20	40 mn	48.000	4,68.124
4	14	20	11 mn	13.200	4,12.057
5	15,5	20	7mn 30 s	9.000	3,95.424
6	16,5	20	3mn 50 s	4.600	3,66.276
7	18	20	2mn 30 s	3.000	3,47.712
8	19	20	1mn 45 s	2.100	3,32.222
9	19,5	20	1mn 25 s	1.700	3,23.045
10	20,5	20	1mn 20 s	1.600	3,20.412

Les films ont été développés automatiquement dans des conditions standardisées et précises, afin qu'à dose égale reçue , le noircissement soit uniforme. Puis, ils ont été analysés au micro-densimètre enregistreur.

Cette analyse densitométrique repose sur le fait que, comme nous l'avons montré , l'absorption du rayonnement X se fait, à épaisseur constante, suivant une loi exponentielle en fonction de la densité d'échantillons traversés.

Le noircissement du film radiographique étant proportionnel à l'exposition, on peut avoir une relation entre la densité de bois traversé et la densité optique de la radiographie, puisque celle-ci est égale au logarithme du noircissement. A l'aide d'un micro-densimètre enregistreur, on relève le profil de densité d'un échantillon.

... / ...

Ce profil de densité peut-être gradué en valeur absolue. En effet, à l'aide de films d'acetate de cellulose de gramme connu, empilés sur des épaisseurs variables, on réalise un coin pour lequel la densité varie d'une façon continue; Cette échelle est disposée sur le même film et radiographiée dans les mêmes conditions que les échantillons de végétal. Ainsi la correspondance entre le noircissement du coin, étalonné en densité, et le noircissement dû aux éprouvettes est établie rapidement à l'aide du micro-densimètre.

A titre d'exemple, nous donnons les caractéristiques densitométriques (fig 9,10 & 11) et radiographiques pour un arbre type de chacune des stations A, B et C;

1)- RADIOGRAPHIE:

- radio n° 15, film nu
- date : 27 avril 1970
- échantillons: n° A 27,B 25, et C 15 (afin d'obtenir les résultats sous les conditions identiques, nous avons réparti au hasard les carottes de sondage des trois stations à la fois sur chaque film).
- essence: Fagus orientalis Lipsky
- distance de la source d'irradiation du film: 2,50 m
- intensité du flux: 20 mA
- tension accélératrice: 15 kV
- temps d'exposition: 3 mn 45 s

2)- DEVELOPPEMENT:

- révélateur: 4 mn à 20°C
- bain d'arrêt: 5 mn
- rinçage dans l'eau
- fixateur: 10 mn à 20°C
- rinçage dans l'eau déminéralisée: 30 mn

On voit notamment sur les profils que l'arbre de la station A est le plus hétérogène(grande différence entre les densités maximales et les densités minimales) et que la proportion de bois de densité supérieure à 600 g/dm3 y est très élevée;

.../...

FIGURE 9 : EXEMPLE DE COURBE DE LA VARIATION DE LA DENSITE D'UN FAGUS ORIENTALIS (27) DE LA STATION A.

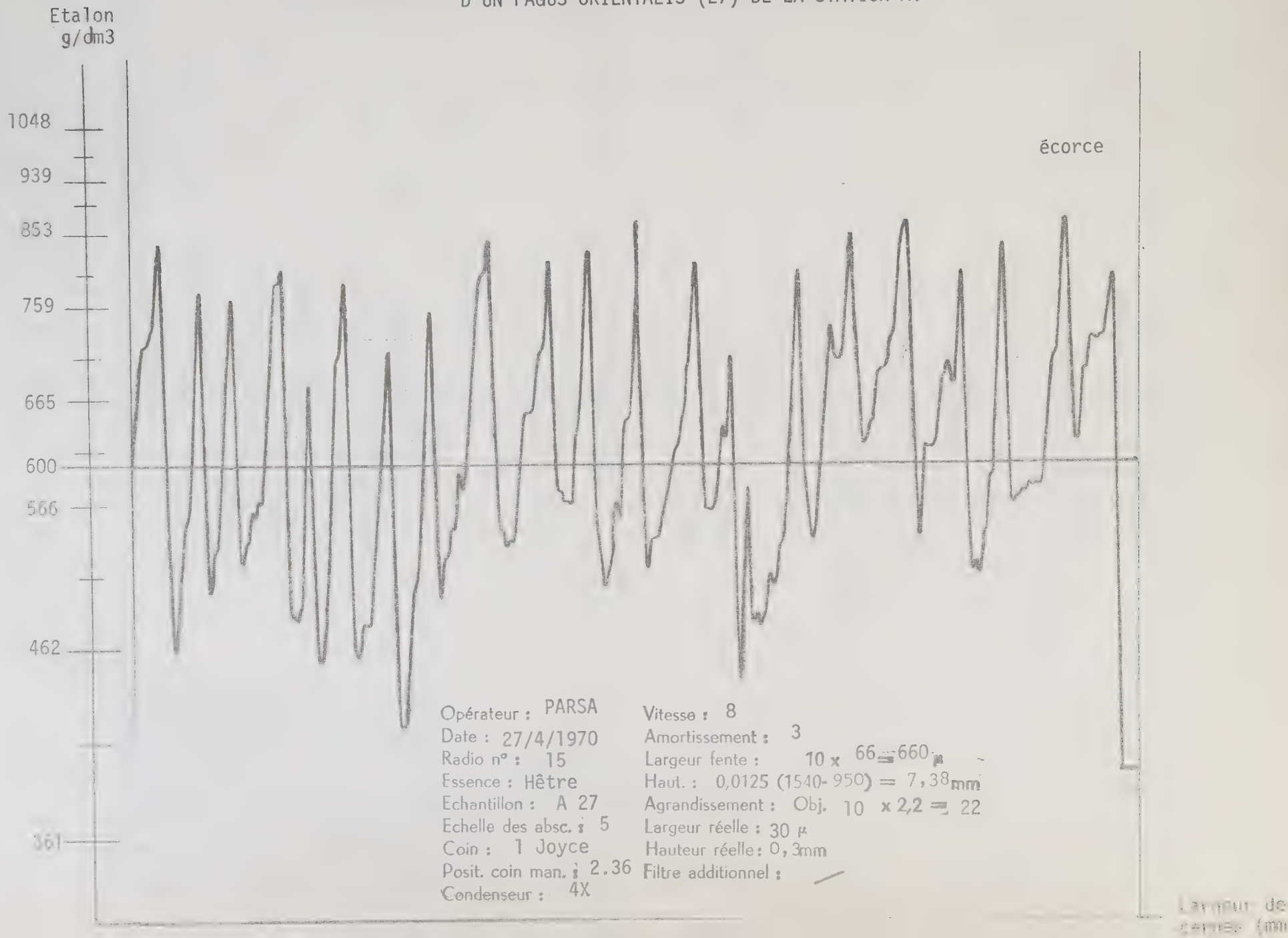


FIGURE 10 : EXEMPLE DE COURBE DE LA VARIATION DE LA DENSITE D'UN FAGUS ORIENTALIS (25) DE LA STATION B.

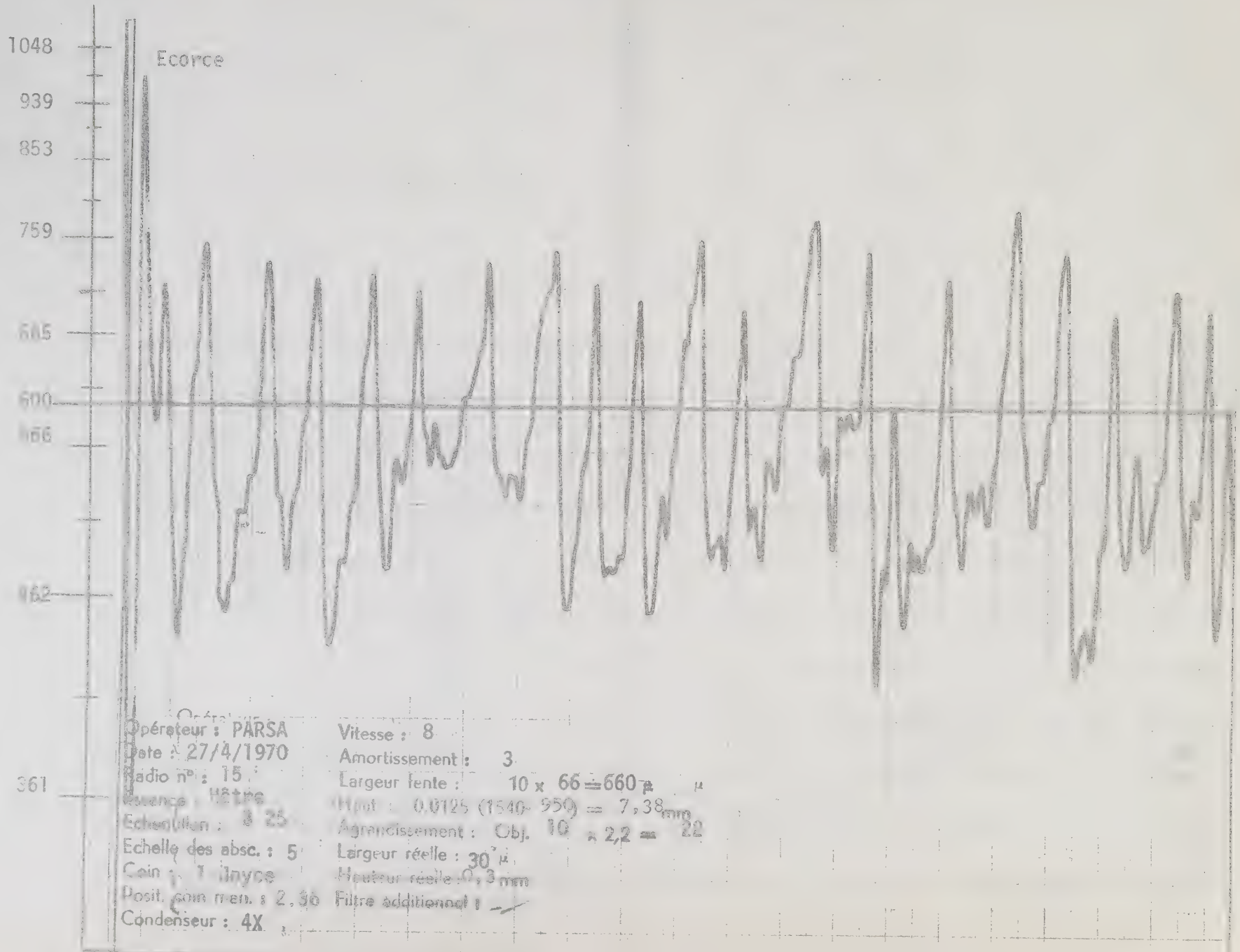
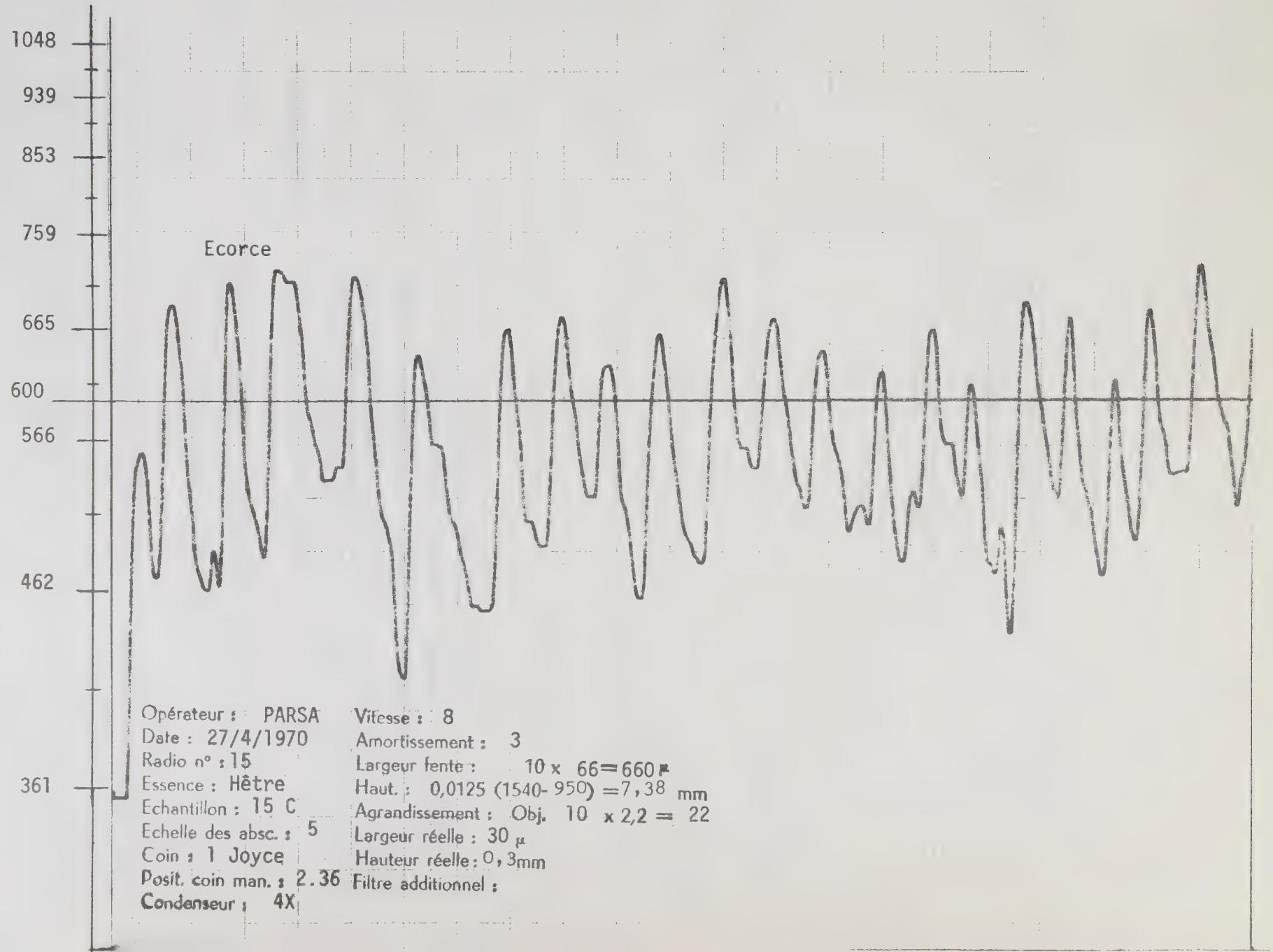


FIGURE 11 : EXEMPLE DE COURBE DE VARIATION DE LA DENSITE D'UN FAGUS ORIENTALIS (15) DE LA STATION C.



Celui de la station C est le plus homogène et son profil se trouve en grande partie au-dessous de la densité de référence 600. L'arbre de la station B présente des caractéristiques intermédiaires.

2.2.4. - LES METHODES STATISTIQUES.

2.2.4.1. - Etudes de corrélation.

Après avoir obtenu la valeur de chaque caractère pour chaque éprouvette, et pour chaque arbre, nous avons fait une étude de corrélation simple (18).

1) - Entre les 23 caractères donnés par les différents essais à l'intérieur des individus (arbres n° 1, 9, 16, 19, 20) qui avaient pu fournir un nombre d'éprouvettes suffisant pour cette sorte d'étude (en moyenne 50 couples de caractères).

2) - Sur les valeurs moyennes de chaque caractère entre les arbres (25 couples).

Ainsi, d'après environ les 1200 corrélations trouvées, nous avons pu interpréter les relations de caractéristiques étudiées entre elles, et établir des liaisons avec des données telles que les composantes de densité, sur lesquels est fondée la qualification des trois stations A, B et C. Nous avons aussi représenté les corrélations les plus importantes par leurs droites de régressions (voir en annexe).

2.2.4.2. - Comparaisons de moyennes par analyse de la Variance.

Nous avons procédé à des comparaisons de moyenne :

1) - Entre les individus pour chaque caractère étudié, ce qui a conduit

.../...

à 23 comparaisons.

2) - Entre les trois stations pour six caractères.

D'après les renseignements nous avons pu classer les individus et les stations selon leurs qualités mécaniques et physiques. C'est une étude faite en détail qui a exigé un travail très important et pour laquelle on s'est servi de la méthode de comparaison de DUNCAN (19).

Dans cette méthode, après avoir trouvé la valeur Zk sur le tableau de "Ranges réduits significatifs au seuil de 0,05 ou de 0,01" pour le degré de liberté correspondant, on multiplie celle-ci par l'écart type résiduel Rk et on classe les moyennes par ordre croissant ; on compare alors les différences successives entre les valeurs des moyennes avec Rk. Si cette différence est plus grande que Rk, les moyennes sont considérées comme différentes.

Etant donné que le nombre des mesures varie d'arbre à arbre, nous avons déterminé un nombre moyen de mesure K donné par l'expression :

$$K = \frac{1}{N - 1} \left(m - \frac{\sum m2}{m} \right)$$

dans laquelle :

N = nombre des individus,

m = nombre total des mesures,

m_k = nombre des mesures au sein du Kième individu.

Une fois K trouvé, on divise la variance résiduelle par celui-ci pour obtenir l'écart type moyen de la valeur considérée pour un arbre. (20)

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sigma^2 r}{k}}$$

$\sigma^2 r$ = variance résiduelle résultant de l'analyse de variance.

σ_m = écart-type moyen.

.../...

3 - PRESENTATION DES RESULTATS RELATIFS AUX PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES.

Pour faciliter la présentation des résultats, nous avons désigné chaque caractère par la lettre X, suivie par un indice chiffré, par exemple X_1 = largeur de cerne. L'équivalence entre caractères et indices est fournie dans le tableau ci-dessous. (page 35).

3.1 - VALEUR MOYENNE INDIVIDUELLE.

Le tableau (2) ci-après résume les résultats trouvés pour les 25 arbres. L'essai à la résistance qu choc n'a pu porter que sur les arbres n° 1, 2, 5, 8, 9, 10, 12, 16, 19 et 20, à cause des nombres trop restreints des échantillons. L'essai de traction n'a pu être effectué sur l'arbre n° 12, à cause de ses éprouvettes complètement inutilisables.

3.1.1. - LARGEUR DE CERNES.

Cette caractéristique varie d'une façon assez importante chez les arbres étudiés, on remarque que ces variations vont de 0,9 mm (l'arbre n° 17) à 2,7 mm (l'arbre n° 22). La moyenne pour l'ensemble des arbres est de 1,46 mm.

3.1.2. - INFRADENSITE.

Elle varie de 477 g/dm3, (l'arbre n° 19), à 591 g/dm3 (l'arbre n° 3), et la valeur moyenne est de l'ordre de 537 g/dm3, ainsi on remarque une variation très élevée.

3.1.3. - RESISTANCE A LA FLEXION STATIQUE.

3.1.3.1. - Charge à 3 % de la portée.

Elle varie de 31,6 kg/cm2, pour l'arbre 17 à 58,9 kg/cm2 pour l'arbre numéro 6, et sa valeur moyenne est de 48,1 kg/cm2.

.../...

TABLEU D'EQUIVALENCE ENTRE LES CARACTERES ET INDICES.

X 1	= Largeur de cernes.	mm
X 2	= Densité moyenne.	g/dm3
X 3	= Flèche de rupture.	mm
X 4	= Charge de rupture.	kg/ cm2
X 5	= Charge produisant une déformation égale à 3% de la portée.	kg/ cm2
X 6	= Module d'elasticité.	kg/ cm2
X 7	= Charge en compression axiale à l'écrasement de l'éprouvette.	kg/ cm2
X 8	= Dureté (largeur de l'empreinte).	mm
X 9	= Retrait axial de l'état saturé à l'état sec à l'air.	%
X10	= Retrait axial de l'état saturé à l'état anhydre.	%
X11	= Retrait axial de l'état sec à l'air à l'état anhydre.	%
X12	= Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air.	%
X13	= Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre.	%
X14	= Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre.	%
X15	= Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air.	%
X16	= Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre.	%
X17	= Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre.	%
X18	= Traction transversale parallèle aux rayons ligneux.	kg/ cm2
X19	= Traction transversale perpendiculaire aux rayons ligneux.	kg/ cm2
X20	= Résistance au choc.	kgm/ cm2
X21	= Densité maximale annuelle moyenne.	g/dm3
X22	= Densité minimale annuelle moyenne.	g/dm3
X23	= Longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3.	%

TABLEAU 2

[illegible]

	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
1	[illegible]	9,6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,43	0,09	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,4	[illegible]	[illegible]	2,3	28,9	22,4	0,47
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,43	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12,2	3,1	33,9	24,5	1,16
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,34	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	13,3	[illegible]	40,6	34,8	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,38	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	30,9	23,7	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,23	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	33,2	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	32,0	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,40	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,9	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,3	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,4	[illegible]	22	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0,47	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	33,7	[illegible]	90 3??	133	7,3	0,70	0,72	0,02	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	25,3	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	45,6	43,3	117 380	127	7,0	0,48	[illegible]	-0,16	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	92 630	[illegible]	7,8	0,47	0,30	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2,4	29,5	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible] 240	[illegible]	[illegible]	0,48	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1,6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	55	[illegible]	0,45	[illegible]	-0,29	[illegible]	[illegible]	1,8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	22 720	72	[illegible]	0,42	0,20	-0,23	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	61,2	[illegible]	[illegible]	51	[illegible]	0,39	0,08	-0,23	[illegible]	[illegible]	[illegible]	11,3	[illegible]	2,3	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	6,2	0,43	0,12	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	9,3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	46,7	42,3	[illegible]	36	6,9	[illegible]	0,46	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	36,0	29,0	

3.1.3.2. - Flèche de rupture.

Sa valeur la plus faible est de 9,1 mm pour l'arbre n° 17 et celle la plus forte est de 15,3 mm pour l'arbre n° 3. En moyenne nous avons trouvé une flèche de 10,8 mm.

3.1.3.3. - Charge maximum de rupture.

Elle varie de 33,7 kg/cm2 pour l'arbre n° 17 à 67,1 kg/cm2 pour l'arbre n° 3, sa valeur moyenne est de 51,3 kg/cm2.

3.1.3.4. - Module d'élasticité.

Ce module change de 90370 k/cm2 pour l'arbre n° 17 à 138550 k/cm2 pour l'arbre n° 2, la valeur moyenne obtenue est de 118230 kg/cm2, ainsi pour ce caractère les arbres étudiés ont une élasticité moyenne.

3.1.4. - RESISTANCE A LA COMPRESSION AXIALE.

La valeur de cette grandeur varie de 422kg/cm2 pour l'arbre n° 19 à 674 kg/cm2 pour l'arbre n° 6 , et, en moyenne elle est de l'ordre de 564 kg/cm2.

3.1.5. - LA DURETE.

Les chiffres obtenus montrent que la largeur de l'empreinte qui est une quantité en rapport avec la dureté varie de 7,8 mm pour l'arbre n° 19 (le moins dur) à 5,1 mm pour l'arbre n° 3 (le plus dur) et la valeur moyenne est de 6,3 mm.

.../...

3.1.6. - RESISTANCE A LA TRACTION.

3.1.6.1. - Parallèle aux rayons ligneux.

Elle varie de 25,4 kg/cm2 pour l'arbre n° 20 à 43,1 kg/cm2 pour l'arbre n° 22. Sa valeur moyenne est de 34,8 kg/cm2.

3.1.6.2. - Perpendiculaire aux rayons ligneux.

Dans l'ensemble la valeur de cette résistance est nettement inférieure à la précédente. En effet, elle s'étend de 22,1 kg/cm2 pour l'arbre n° 10 à 34,8 kg/cm2 pour l'arbre n° 3 . Quant à la valeur moyenne elle n'atteint que 27,1 kg/cm2.

3.1.7. - RESISTANCE AU CHOC.

Elle varie de 0,44 kgm/cm2 pour l'arbre n° 20 à 1,16 kgm/cm2 pour l'arbre n° 2 et la valeur moyenne se monte à 0,70 kgm/cm2.

3.1.8. - RETRACTIBILITE DANS LES DIVERS SENS.

3.1.8.1. - Axiale.

- De l'état saturé à l'état sec à l'air, elle varie de 0,24 % pour l'arbre n° 14 , à 0,70 % pour l'arbre n° 17, sa valeur moyenne est de 0,24 %.
- De l'état saturé à l'état anhydre, elle varie de 0,04 % pour l'arbre n° 14 à 0,72 % pour l'arbre n° 17, sa valeur moyenne est de 0,24 %.
- De l'état sec à l'air à l'état anhydre, elle varie de 0,17 % pour l'arbre n° 8 à -0,33 % pour l'arbre n° 1 et la valeur moyenne est de -0,18.

Ainsi dans ce cas, il y a allongement du bois dans la direction axiale de l'arbre lorsque le bois subit le séchage de l'état sec à l'air à l'état anhydre.

.../...

3.1.8.2. - Radiale.

- Elle varie, de l'état saturé à l'état sec à l'air, de 3,1 % pour l'arbre n° 8 à 4,6 % pour l'arbre n° 14 et la valeur moyenne est de 3,7 %.

- De l'état saturé à l'état anhydre, elle varie de 4,6 % pour l'arbre n° 19, à 6,1 % pour l'arbre n° 14 ; la valeur moyenne est de 5,2 % .

- De l'état sec à l'air à l'état anhydre, on remarque une variation de 1,1 % pour l'arbre n° 9 à 1,8 % pour l'arbre n° 21 ; la moyenne obtenue est de 1,4 %.

3.1.8.3. - Tangentielle.

- De l'état saturé à l'état sec à l'air, elle change de 8,5 % pour l'arbre n° 19 à 11,3 % pour l'arbre n° 23, la valeur moyenne est de 9,5 %.

- De l'état saturé à l'état anhydre, elle varie de 11,0 % pour l'arbre n° 11 à 14,1 % pour l'arbre n° 23, la valeur moyenne est de 12,3 %.

- De l'état sec à l'air à l'état anhydre, elle varie de 1,9 % pour l'arbre n° 12 à 3,1 % pour les arbres n° 2, 21 et 24 ; la valeur moyenne est de 2,6 %.

Dans le but de comparer la qualité du hêtre d'Iran, Fagus Orientalis avec les hêtres en provenance d'autres régions, nous présentons les caractéristiques mécaniques et physiques de Fagus Orientalis d'une région de Turquie (21) et de Fagus Sylvatia de Yougoslavie (22) dans le tableau (3) ci-après.

.../...

Tableau 3

Valeurs des différentes caractéristiques de Fagus rientalis et de Fagus sylvatica.

Propriétés	Fagus orientalis Iran	Fagus orientalis Turquie	Fagus Sylvatica Yougoslavie
Largueur de cerne mm	1,46	1,40	1,64
Densité (infra) g/dm3	537	531	555
Flèche de rupture mm	10,8		
Charge à 3 % de la portée kg/cm2	48,1		
Charge à la rupture kg/cm2	51,3		
Module d'élasticité kg/cm2	118200	125000	122 750
Compression axiale kg/cm2	564		648
Dureté	6,3		
Retrait axial saturé-sec à l'air %	0,42		
Retrait axial sec à l'air-anhydre %	0,18		
Retrait axial saturé-anhydre %	0,24	0,5	
Retrait radial saturé-sec à l'air %	3,7		
Retrait radial sec à l'air-anhydre %	1,4		
Retrait radial saturé-anhydre %	5,2	5,0	5,51
Retrait tangentiel ; saturé-sec à à l'air %	9,5		
Retrait tangentiel ; sec à l'air-anhydre %	2,6		
Retrait tangentiel ; saturé-anhydre %	12,3	10,5	11,7
Retrait volumétrique ; saturé-anhydre%	17,7	[illegible]	[illegible]
Retrait tangentiel / Retrait radial ; saturé-anhydre	2,4	2,1	2,09
Traction parallèle aux rayons ligneux (kg/cm2)	34,8		
Traction perpendiculaire aux rayons ligneux (kg/cm2)	27,1		
Résistance au choc kgm/cm2	0,70	0,45	0,947

4 - PRESENTATION DES RESULTATS RELATIFS AUX ETUDES RADIOGRAPHIQUES DE CINQ ARBRES.

4.1. - VALEURS MOYENNES INDIVIDUELLES.

Le tableau (4) ci-après regroupe pour les arbres 1, 9, 16, 19 et 20 les caractéristiques classiques, physiques et mécaniques, et les caractéristiques nouvelles obtenues par la méthode microdensitométrique.

4.1.1. - DENSITE MAXIMALE.

C'est en général la densité instantanée du bois qui se trouve à l'extrêmité de la zone finale des cernes et que l'on aperçoit dans la partie à concavité tournée vers les faibles densités des courbes de la variation de densité. (Fig. 12).

La valeur de ce caractère pour les arbres étudiés varie, de 776 g/dm3 pour l'arbre numéro 1, à 834 g/dm3 pour l'arbre numéro 9.

4.1.2. - DENSITE MINIMALE.

C'est la densité instantanée que l'on trouve en général au commencement du bois de printemps et que l'on aperçoit dans la partie convexe des courbes de la variation de la densité (Fig. 12). La valeur de cette caractéristique varie de 432 g/dm3 pour l'arbre numéro 1, à 501 g/dm3 pour l'arbre numéro 9.

.../...

Tableau (4)

Liste des caractéristiques nouvelles obtenues par la méthode microdensitométrique et des caractéristiques classiques, physiques et mécaniques, pour les cinq arbres.

	Caractéristiques*	Numéro des arbres				
		1	9	16	19	20
	X_1	1,1	1,5	1,2	1,2	1,1
	X_2	483	528	516	477	502
	X_3	9,6	9,7	9,0	10,8	9,4
	X_4	47,1	58,0	44,0	37,9	45,8
	X_5	45,1	56,4	42,4	35,7	44,6
	X_6	117620	131260	127110	92630	115240
	X_7	528	613	512	422	527
	X_8	6,9	6,1	6,8	7,8	7,0
	X_9	0,43	0,40	0,41	0,47	0,48
	X_{10}	0,09	0,16	0,14	0,30	0,25
	X_{11}	-0,33	-0,25	-0,27	-0,17	-0,19
	X_{12}	3,3	3,7	4,0	3,3	3,5
	X_{13}	4,8	4,8	5,2	4,6	5,1
	X_{14}	1,4	1,1	1,2	1,3	1,6
	X_{15}	8,6	9,8	8,9	8,5	8,7
	X_{16}	11,1	12,3	11,3	11,1	11,9
	X_{17}	2,3	2,3	2,2	2,4	2,9
	X_{18}	28,9	35,4	33,2	29,5	25,4
	X_{19}	22,4	26,5	24,5	23,7	25,4
	X_{20}	0,47	0,88	0,50	0,81	0,44
Nouvelles caractéristiques	X_{21}	776	834	833	787	821
	X_{22}	432	501	492	463	469
	X_{23}	35,7	60,8	54,7	40,2	56,3

* Les indices des diverses variables sont donnés à la page 35

.../...

tableau (4)

Liste des caractéristiques moyennes, [illegible] la matrice [illegible] unique et des caractéristiques discriminantes, présentée en ordre [illegible]

Caractéristiques	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
X_1	1,1	1,0	1,2	1,2
X_2	483	324	316	477
X_3	3,0	[illegible]	[illegible]	
X_4	42,1	30,0	[illegible]	
X_5	45,1	36,4	[illegible]	
X_6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
X_7	328	613	312	
X_8	6,9	6,1	6,8	
X_9	0,43	0,40	0,41	
X_{10}	0,09	0,16	0,14	
X_{11}	-0,33	-0,25	-0,27	
X_{12}	3,3	3,7	4,0	
X_{13}	4,8	4,8	[illegible]	
X_{14}	[illegible]	[illegible]	1,2	
X_{15}	[illegible]	[illegible]	8,9	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
X_{18}	[illegible]	2,3	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	22,4	26,5	24,5	[illegible]
[illegible]	0,47	0,86	0,50	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	

4.1.3. - POURCENTAGE DE LONGUEUR RADIALE OU LE BOIS A UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE A 600 g/dm3.

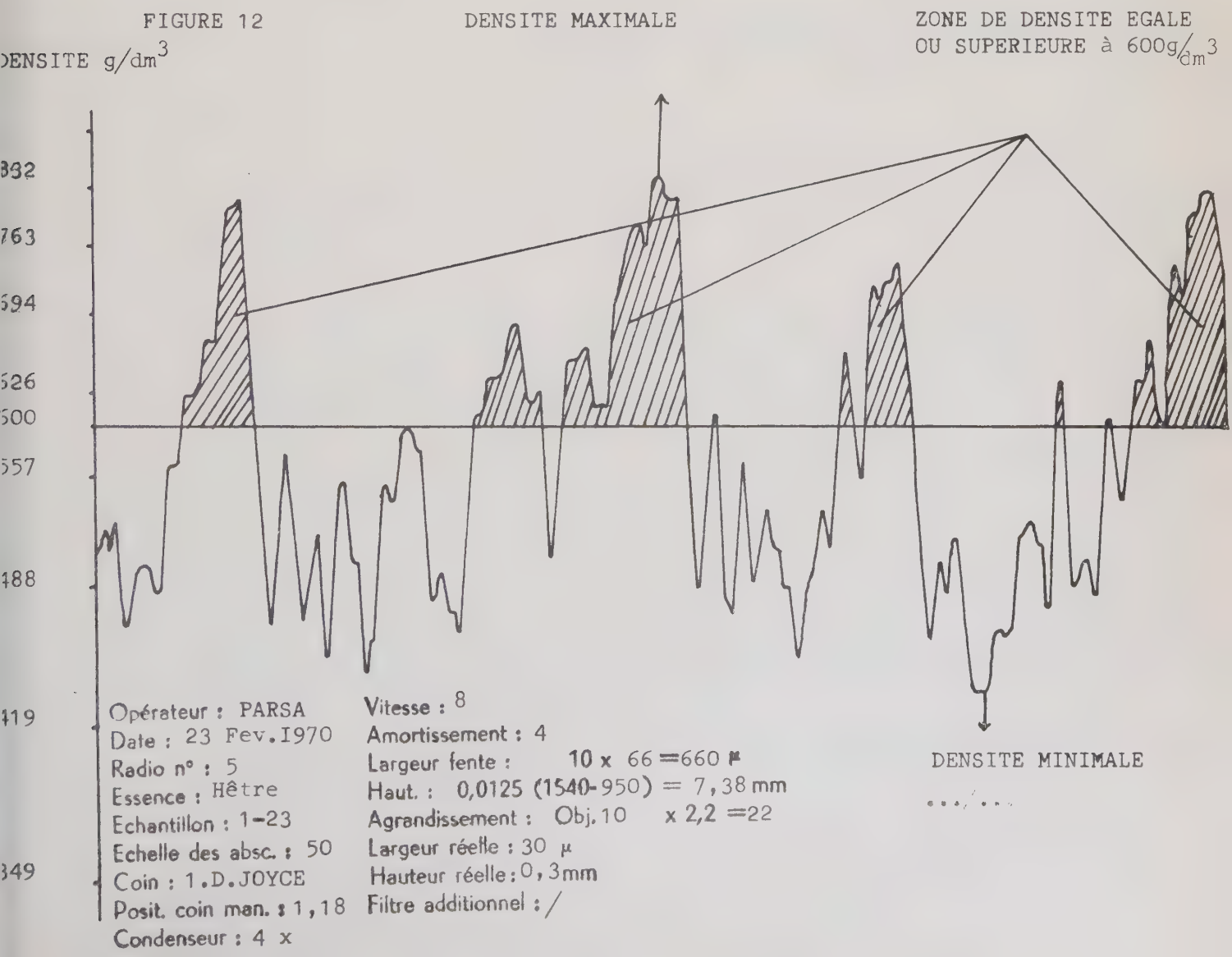
Cette quantité nous fournit les renseignements relatifs à la texture du bois.

Plus elle est élevée, plus la texture du bois est forte.

Pour les arbres étudiés, cette valeur varie considérablement : de 35,7 % pour l'arbre numéro 1, à 60,8 %, pour l'arbre numéro 9.

Sur la Figure 12, nous avons représenté hachurées les zones correspondantes à cette définition, pour quatre cernes annuels de l'éprouvette numéro 33 de l'arbre numéro 1.

FIGURE 12



.../...

5 - ETUDES DES CORRELATIONS ENTRE LES DIVERSES VARIABLES.

Toutes les variables X 1 à X 23 prises deux à deux ont donné à la fois lieu à des calculs de corrélations, à l'intérieur des individus, et entre les individus.

5.1. - ETUDE PARTICULIERE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES DIVERSES VARIABLES A L'INTERIEUR DE CINQ ARBRES.

Les tableaux numéros 5, 6, 7, 8 et 9, portés en annexe II, regroupent respectivement les coefficients de corrélation pour les arbres numéros 1, 9, 16, 19 et 20.

Dans le cas de la résistance au choc, à cause du nombre insuffisant de couples de valeurs obtenues pour certains arbres, nous n'avons étudié les corrélations que pour les hêtres numéros 16 et 19.

5.1.1. - CORRELATION ENTRE LA LARGEUR DE CERNES ET LES AUTRES CARACTERES.

Nous avons regroupé dans le tableau 10 ci-après les coefficients de corrélations les plus forts (au seuil de 1 % au moins) dans la mesure où ils sont significatifs au moins chez trois arbres sur cinq.

5.1.1.1. - La largeur de cernes, l'infradensité et ses composantes :

.../...

5.1.1.1.1. - Infradensité.

La forte corrélation positive qui existe entre la largeur de cernes et l'infradensité dans les cinq cas observés, nous montre que le bois du hêtre est d'autant plus lourd, que les accroissements annuels sont plus larges, et ceci fournit un premier renseignemen important pour le sylviculteur.

Tableau 10

Coefficients de corrélations significatifs au seuil de 1 % entre la largeur de cernes et les caractères étudiés à l'intérieur des arbres.

Propriétés / arbre n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Infradensité	0,68	0,52	0,58	0,80	0,72
Charge à la rupture	0,47	-	-	0,71	0,79
Charge à 3 % de la portée	0,60	-	-	0,75	0,61
Module d'élasticité	0,47	-	-	0,45	0,42
Compression axiale	0,55	-	0,37	0,71	0,43
Dureté	-0,57	-0,54	-0,50	-0,66	-0,44
Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,56	0,58	0,44	0,62	0,36
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	0,61	0,65	0,40	0,70	0,59
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,49	-	-	0,43	0,55
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,41	-	0,58	0,80	0,73
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre	0,61	-	0,61	0,84	0,81
Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,61	-	-	0,69	0,78
Densité maximale	0,58	-	-	0,78	0,51
Densité minimale	0,54	0,66	-	0,63	0,79
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3	0,73	0,58	-	0,82	0,78

.../...

Pour expliquer cet état de choses :

1°) Bien que l'on ait affaire à un feuillu homogène, on retrouverait une loi bien connue pour les feuillus à zones poreuses ; la zone initiale riche en vaisseaux donc à faible densité a une largeur peu variable ; quand l'accroissement annuel augmente c'est essentiellement la zone dense pauvre en vaisseaux qui s'accroît en sorte que la densité et la largeur sont positivement liées.

2°) Si on considére la largeur de cernes comme une grandeur reflètant la longueur de la période de la végétation, les années qui ont une période de végétation plus longue pourraient être chez les feuillus plus favorables à la constitution d'une matière ligneuse compacte que les années qui ont un accroissement fin ; cela peut se produire quand une pluviosité estivale abondante est accompagnée d'une température élevée. Ainsi on peut penser que ces deux facteurs s'ils existent, sont propices à une longue période de végétation et provoquent l'élaboration de bois à forte densité.

3°) On remarque que la zone centrale des troncs qui correspond à la jeunesse des arbres est constituée de cernes larges. L'infradensité du bois élaboré au début de la vie des arbres est forte, et les corrélations se trouvent également vérifiées dans ce cas.

5.1.1.1.2. - Pourcentage de longueur radiale où le bois à une densité égale ou supérieure de 600 g/dm3.

Les corrélations étroites qui existent entre la largeur de cernes et le pourcentage du bois qui a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3, montrent mieux quelle est la partie des cernes qui est responsable des propriétés observées ci-dessus.

Comme nous l'avons vérifié sur les courbes de la variation de densité,

.../...

cette partie se place vers la fin de la saison de végétation. Ainsi dans les accroissements larges, il y aurait par rapport aux cernes étroits, une diminution du nombre et du diamètre des cavités des vaisseaux accompagnée d'une augmentation des constituants fibreux ; une forte largeur de cernes s'accompagne d'une forte texture du bois, et les hypothèses faites plus haut sont toujours valables. Nous avons représenté pour l'arbre n° 1 sur la figure 13 portée en annexe III, les relations entre la largeur du bois final et la largeur de cernes en donnant la droite de régression correspondante.

5.1.1.1.3. - Densité maximale.

La corrélation qui existe entre la densité maximale et la largeur de cernes, traduit le fait que les cernes larges produisent aussi le bois plus dense.

5.1.1.1.4. - Densité minimale.

La corrélation positive entre la largeur de cernes et la densité minimale nous indique que les années à accroissements larges sont également caractérisées par de fortes densités minimales annuelles. Ce dernier effet peut présenter une certaine analogie avec les résultats des observations faites sur les accroissements annuels d'Abies grandis, POLGE (1966) (10). Par contre sur pinus silvestris, POLGE H., KELLER R. (1968) (23) ont montré qu'un apport d'eau entraîne à la fois une augmentation de la largeur des cernes et une baisse de la densité minimale.

5.1.1.2. - La largeur de cernes et la résistance en flexion statique.

5.1.1.2.1. - Charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée.

Il y a une forte corrélation dans trois cas sur cinq entre ce caractère et l'accroissement annuel. Ce rapport positif montre que les hêtres à accroissements larges résistent mieux que ceux qui ont des cernes étroits à la charge, avant que la rupture survienne.

.../...

Cette caractéristique pourraît être intéressante pour les bois de mine à condition qu'elles reçoivent des traitements antiseptiques, d'autant plus que ce hêtre, au contraire de Fagus Sylvatica, provoque, selon nos observations, des signes d'avertissement avant la rupture.

5.1.1.2.2. - Charge de rupture.

On remarque également des coefficients de corrélation fortement positifs entre ce caractère et la largeur de cernes. Ainsi le hêtre ayant des accroissements larges est plus résistant que celui à accroissements étroits.

5.1.1.2.3. - Module d'élasticité.

On remarque des corrélations positives au seuil de 1 % entre ce caractère et la largeur de cernes, dans trois cas sur cinq.

Il faut donc savoir qu'une accélération de la croissance s'accompagne d'une forte élasticité.

5.1.1.3. - La largeur de cernes et la dureté.

Nous avons trouvé pour les cinq cas étudiés des corrélations étroites entre ces caractères.

Ainsi le bois des hêtres à accroissements plus larges est plus dur. Cette observation est intéressante ; elle montre que pour des usages nobles où un bois tendre est nécessaire il convient de choisir des hêtres à accroissements fins.

.../...

5.1.1.4. - La largeur de cernes et la compression axiale.

Les fortes corrélations positives que nous remarquons sur le tableau (10), nous montrent que les hêtres à accroissements larges résistent mieux à la compression dans le sens des fibres, que ceux dont les accroissements sont fins.

Cela peut être attribué à deux causes :

1°) d'une part, nous avons déjà vu (paragraphe 5.1.1.2.3.), que le hêtre à accroissements larges a un plus grand module d'élasticité, or ce module est lié avec l'angle d'inclinaison des micelles, FUJISAKI K. (1962) (24), ainsi l'augmentation de la résistance à la compression axiale dans le cas des cernes plus larges est en partie due à une meilleure orientation des fibrilles par rapport à l'axe des fibres.

2°) d'autre part, le pourcentage de bois à forte densité (600 g/dm3 ou plus) est plus élevé dans les cernes plus larges.

5.1.1.5. - La largeur de cernes et les divers retraits.

5.1.1.5.1. - Retrait radial.

Le tableau 10 nous montre qu'il y a de fortes corrélations entre la largeur de cernes et le retrait radial entre les trois états de siccité.

Remarquons surtout le cas de l'état saturé à l'état sec à l'air.

Ces corrélations étroites nous indiquent que le retrait radial est plus faible chez les hêtres à accroissements fins.

.../...

5.1.1.5.2. - Retrait tangentiel.

On remarque de très fortes corrélations entre ce caractère et la largeur de cernes pour les trois étudiés. Nous considérons le cas de l'état saturé à l'état sec à l'air comme le plus important au point de vue des utilisations pratiques du bois de hêtre.

Ainsi ce matériau, d'après ces dernières remarques (paragraphes 5.1.1.5.1. et 5.1.1.5.2.) se rétrécit moins en séchant de l'état saturé à l'état sec à l'air si ses accroissements sont fins.

Nous pensons que l'augmentation du retrait tangentiel avec l'augmentation de la largeur de cernes, pour le bois de hêtre, depend en partie de l'inclinaison des microfibrilles dans la paroi secondaire des fibres, et de l'abondance plus grande de la matière ligneuse par unité de volume. En effet, d'après les travaux de MADDERN HARRIS J. et MEYLAN B. A. (1965) (25) sur Pinus radiata, le retrait tangentiel est plus élevé dans le bois final que dans le bois initial, tandis que l'angle micellaire y est plus aigu : et nous avons effectivement déjà montré (paragraphe 5.1.1.1.4.) que les accroissements larges possèdent une plus grande partie de bois à forte densité (600 g/dm3 ou plus).

5.1.2. - CORRELATION ENTRE L'INFRADENSITE ET LES AUTRES CARACTERISTIQUES.

Nous avons déjà mis en évidence le rapport qui existe entre l'infradensité et la largeur de cernes. Pour les autres caractères, le tableau (11) à la page suivante regroupe les coefficients de corrélation les plus forts, (au seuil de 1 %) et dans les cas les plus fréquemment observés (5, 4 et 3 fois).

.../...

Tableau 11

Coefficients de corrélations significatifs au seuil de 1 % entre l'infradensité et les autres caractères à l'intérieur de l'arbre.

Propriétés / Arbre n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Flèche à la rupture	-	0,48	-	0,48	0,49
Charge à la rupture	-	0,77	0,55	0,79	0,84
Compression axiale	0,69	0,57	0,65	0,72	0,46
Dureté	-0,81	-0,73	-0,68	-0,77	-0,61
Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,69	0,41	0,56	0,59	0,43
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	0,75	0,58	-	0,72	0,74
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,57	0,52	0,36	0,53	0,51
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre	0,61	0,55	0,66	0,75	0,81
Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,50	-	0,48	0,64	0,73
Densité maximale	0,60	0,36	0,59	0,72	0,67
Densité minimale	0,80	0,70	0,46	0,79	0,69
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3	0,89	0,79	0,67	0,94	0,83

5.1.2.1. - L'infradensité et les composantes de la densité.

5.1.2.1.1. - Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3.

.../...

Il y a de très fortes corrélations dans les cinq cas observés. L'augmentation de ce pourcentage représente une production plus élevée de matière ligneuse à forte densité, ce qui donne évidemment une plus grande densité au bois.

5.1.2.1.2. - Densité minimale.

On remarque chez les cinq arbres, des corrélations étroites entre ce caractère et la densité moyenne. Mais ces coefficients sont toujours moins forts que dans le cas précèdent.

5.1.2.1.3. - Densité maximale .

Nous avons obtenu avec cette grandeur des corrélations étroites pour les cinq cas observés, mais moins fortes que celles relatives à la densité minimale et au pourcentage du bois à forte densité.

Par exemple pour l'arbre numéro 19, nous avons trouvé, pour l'infradensité un coefficient de corrélation de 0,94 avec le pourcentage du bois à forte densité, de 0,79 avec la densité minimale et de 0,72 avec la densité maximale pour 32 degrés de liberté.

D'après ces résultats, nous voyons que l'influence du pourcentage du bois à forte densité (600 g/dm3 ou plus) sur l'augmentation de l'infradensité est dominante par rapport à celle de la densité maximale ou minimale. Nous pouvons aussi observer sur les courbes de la variation de densité, que les densités minimale et maximale ne sont atteintes que pendant de très faibles fractions des accroissements annuels, tandis que le bois qui a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 peut représenter jusqu'à 80 % de la largeur des cernes.

Etant donné l'importance de ce dernier caractère nous avons représenté

.../...

sa corrélation avec l'infradensité pour l'arbre numéro 1 par la droite de régression portée en annexe III, sur la figure (14).

5.1.2.2. - L'infradensité et les variables de la flexion statique.

5.1.2.2.1. - Charge de rupture.

On voit qu'il y a de fortes corrélations entre ce caractère et la charge de rupture. Ces liaisons sont connues depuis longtemps et Fagus orientalis suit la règle générale.

5.1.2.2.2. - Flèche de rupture.

On note chez trois arbres sur cinq des corrélations assez fortes.

La densité tend à augmenter en même temps que la flexibilité du hêtre.

5.1.2.3. - L'infradensité et la dureté.

Nos résultats concordent avec ceux des travaux anciens consacrés à ce sujet. Citons notamment la relation étroite entre la dureté et la densité du bois de Liriodendron tulipifera L., trouvé par BAREFOOT A. C. (1965) (26). Densité et dureté sont liées positivement. Le fait que sur le tableau (11) les coefficients de corrélation sont précédés du signe moins provient du fait que la dureté est mesurée par l'intermédiaire d'une largeur d'empreinte qui est évidemment d'autant plus faible que la dureté est plus grande.

5.1.2.4. - L'infradensité et la résistance à la compression axiale.

Dans les cinq cas nous avons obtenu des

.../...

corrélations significatives entre ce caractère et l'infradensité.

5.1.2.5. - L'infradensité et les différents retraits.

5.1.2.5.1. - Retrait radial.

Pour ce retrait de l'état saturé à l'état sec à l'air et de l'état sec à l'air à l'état anhydre, nous avons trouvé des corrélations analogues chez les cinq arbres. De l'état saturé à l'état anhydre, on remarque des corrélations plus étroites, mais chez quatre arbres seulement.

5.1.2.5.2. - Retrait tangentiel.

1°) de l'état saturé à l'état sec à l'air.

Les valeurs des coefficients de corrélations sont en moyenne plus fortes que pour le retrait radial entre les deux mêmes états.

2°) de l'état saturé à l'état anhydre.

Les valeurs obtenues pour les cinq arbres sont plus grandes que dans le cas précèdent.

3°) de l'état sec à l'air à l'état anhydre.

Des corrélations entre ce caractère et l'infradensité apparaissent pour quatre arbres.

En résumé, à une infradensité plus grande correspond, chez Fagus orientalis, une rétractibilité plus importante aussi bien dans le sens tangentiel que dans le sens radial.

5.1.3. - CORRELATIONS ENTRE LA FLECHE DE RUPTURE ET LES AUTRES CARACTERES.

Les corrélations qui existent entre ce caractère

.../...

et l'infradensité (paragraphe 5.1.2.), nous ont permis d'établir qu'une forte densité va de pair avec une forte flexibilité.

En ce qui concerne les autres caractères, la matrice des coefficients de corrélation ne nous montre que très peu de valeurs significatives. En effet, pour les cinq arbres examinés, nous ne pouvons tirer que les valeurs données dans le tableau (12) ci-dessous.

Tableau 12

Coefficients de corrélations significatifs au seuil de 1 % entre la flèche de rupture et les autres caractères.

Propriété / Arbre n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Charge à la rupture	0,54	0,65	0,50	0,64	0,69
Module d'élasticité	-0,42	-	-0,68	-	-
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	-	0,47	-	0,46	-
Densité maximale	-	0,62	-	-	0,63

5.1.3.1. - La flèche et la charge de rupture.

Nous avons obtenu des corrélations entre ce caractère et la flèche pour les cinq arbres étudiés.

La charge de rupture est d'autant plus élevée que la flèche à la rupture est plus grande ; chez les arbres 1 et 16, cette liaison est moins nette et correspond précisément aux deux seuls cas où on a trouvé un lien entre la flèche à la rupture et le module d'élasticité.

.../...

5.1.3.2. - La flèche et le module d'élasticité.

Pour ce caractère nous n'avons trouvé de valeurs significatives que pour les arbres numéro 1 et 16.

Comme nous l'avons déjà vu les valeurs du module d'élasticité jointes à celle de la flèche peuvent nous renseigner sur l'ampleur, du potentiel d'énergie dans la zone élastique du bois.

Un bois à faible module d'élasticité fléchit plus, d'où les valeurs négatives pour les coefficients de corrélation quand ils existent.

5.1.3.3. - La flèche et la densité maximale.

Nous n'avons trouvé que deux cas où des corrélations significatives existent, c'est-à-dire où les propriétés des cellules de la zone finale des cernes peuvent être liées à la flexibilité du hêtre.

5.1.3.4. - La flèche et le retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre.

Nous avons obtenu des corrélations significatives au seuil de 1 % pour les arbres numéros 9 et 19.

Le fait que les corrélations entre les composantes de la densité et la flèche sont peu fréquentes (deux cas observés pour la densité maximale) nous suggère qu'il pourrait y avoir un facteur indépendant de ces dernières qui, en augmentant la densité moyenne, augmenterait aussi la flexibilité (nous avons vu dans le tableau 11 que ces deux caractères sont liés) ; ce facteur pourrait être l'abondance plus ou moins grande des rayons ligneux.

.../...

5.1.4. - CORRELATION ENTRE LA CHARGE DE RUPTURE EN FLEXION STATIQUE ET LES AUTRES CARACTERES.

Dans les paragraphes précèdents, nous avons mis en évidence les corrélations qui existent entre ce caractère, la largeur de cernes, l'infradensité et la flèche. Pour les autres caractères nous avons regroupé les corrélations les plus fortes et les plus souvent observées dans le tableau (13) ci-dessous.

Tableau 13

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre la charge de rupture en flexion statique et les autres variables.

Propriétés \ Arbres n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée	0,91	0,97	0,80	0,94	0,92
Charge en compression axiale	0,49	0,65	0,69	0,79	0,68
Dureté	-	-0,62	-0,60	-0,68	-0,41
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	-	0,46	-	0,77	0,63
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	-	0,56	-	0,46	0,54
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre	0,46	0,41	-	0,68	0,77
Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,48	0,42	0,46	0,54	0,78
Densité minimale	-	0,56	-	0,78	0,56
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure de 600 g/dm3	-	0,63	-	0,79	0,75

.../...

5.1.4.1. - Charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée.

On remarque des corrélations particulièrement étroites entre la charge de rupture et ce caractère pour les cinq arbres. Les éprouvettes qui seront les plus résistantes à la charge de rupture se déforment moins et supportent dans la zone élastique une charge élevée.

5.1.4.2. - Charge en compression axiale.

Il y a d'assez fortes corrélations entre ce caractère et la charge à la rupture pour les cinq cas étudiés.

La charge s'exerce perpendiculairement aux fibres dans le cas de la flexion statique et parallèlement aux fibres dans le cas de la compression axiale ; or, dans les essais de flexion, il y a sur les éprouvettes une partie concave qui est comprimée et dans laquelle les fibres sont raccourcies (27). Ces fibres sont individuellement le siège de compression axiale dans l'essai de flexion, ce qui pourrait expliquer un lien existant entre les deux types d'essai.

5.1.4.3. - Dureté.

On voit dans quatre cas sur cinq des corrélations au seuil de 1 %.

Dans ces deux essais certains éléments résistent dans le même sens, mais dans la flexion statique, il y en a en plus qui sont tendus par rapport à ceux qui sont comprimés (28).

Les éléments qui sont plus rigides provoquent une plus grande résistance à la rupture et causent aussi une plus grande dureté. C'est probablement

.../...

une des raisons pour lesquelles ces deux propriétés sont liées.

5.1.4.4. - Les différents retraits.

5.1.4.4.1. - Retrait radial.

On remarque des corrélations au seuil de 1 % pour les trois mêmes arbres, entre la charge de rupture et le retrait radial, de l'état saturé à l'état anhydre et de l'état sec à l'air à l'état anhydre ; le retrait radial étant une propriété dûe en majeure partie aux caractéristiques des parois radiales des éléments longitudinaux (29), on devrait théoriquement obtenir de fortes corrélations entre ce caractère et la charge de rupture, car cette dernière s'exerce sur ces parois.

5.1.4.4.2. - Retrait tangentiel.

Nous avons obtenu des corrélations entre la charge de rupture et le retrait tangentiel, de l'état saturé à l'état anhydre et de l'état sec à l'air à l'état anhydre.

Ces corrélations sont plus fréquentes et généralement plus fortes que dans le cas de retrait radial.

5.1.4.5. - Densité minimale.

Des corrélations existent entre ce caractère et la charge de rupture pour les arbres 9, 19 et 20.

Selon ces données, plus la densité minimale est grande plus le bois est résistant. Cela tendrait à prouver que le bois de printemps (siège de la densité minimale)influe aussi sur la résistance à la flexion statique.

.../...

Mais on doit observer que cette liaison est de signe contraire à celle trouvée par KELLER R. (1968) sur le Dauglas ; sans doute chez ce résineux à forte texture un bois initial tendre permet-il aux couches de bois finales qui subissent l'essentiel de l'effort de flexion de "glisser" les unes par rapport aux autres, donc de supporter avant rupture une charge plus importante ; chez le hêtre au contraire, un bois de printemps peu dense signifie une forte proportion de vaisseaux et corrélativement une raréfaction des éléments fibreux qui peuvent très bien devenir insuffisants pour résister à la contrainte qui lui est appliquée.

5.1.4.6. - Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure de 600 d/dm3.

On a obtenu de forts coefficients de corrélation entre ce caractère et la charge de rupture. Ainsi plus il y a de bois à densité élevée, plus la charge de rupture est grande.

A propos des relations entre les composantes de la densité et la charge de rupture, on remarque que ces liaisons existent pour les arbres où la charge est également en relation avec les retraits (9, 19 et 20). Ainsi pouvons-nous nous demander si l'origine, de toutes ces relations ne serait pas sous la dépendance des composantes de la densité.

Nous avons représenté en annexe III, les corrélations entre la charge de rupture et le pourcentage du bois à densité de 600 g/dm3 ou plus, pour l'arbre numéro 19 et avons tracé les droites de régression correspondantes. Fig. 15.

5.1.5. - CORRELATION ENTRE LA CHARGE PRODUISANT UNE DEFORMATION EGALE A 3 % DE LA PORTEE ET LES AUTRES CARACTERES.

Nous avons déjà discuté sur les corrélations

.../...

qui existent entre ce caractère, la largeur de cernes, l'infradensité et la charge de rupture. Pour les autres liaisons, nous donnons le tableau (14) ci-dessous qui rassemble les coefficients de corrélation les plus forts (au seuil de 1 % au moins) et les plus souvent observées (trois fois sur cinq au moins).

Tableau 14

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre la charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée et les autres caractères étudiés.

Propriétés / Arbres n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Module d'élasticité	0,57	-	-	0,64	0,63
Charge en compression axiale	0,76	0,71	0,75	0,91	0,78
Dureté	-0,65	-0,65	-0,65	-0,72	-0,40
Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,49	-	-	0,75	0,44
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	0,62	0,42	-	0,82	0,63
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,67	0,45	-	0,49	0,56
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre	0,53	-	-	0,74	0,73
Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,71	0,65	-	0,66	0,69
Densité minimale	-	0,65	-	0,76	0,64
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure de 600 g/dm3	0,64	0,60	-	0,81	0,66

D'après ce tableau, on voit que les relations entre la charge

.../...

produisant une déformation égale à 3 % de la portée, et les caractères décrits ressemblent à celles qu'on a trouvées dans le cas de la charge de rupture, ainsi nous pensons que les remarques du paragraphe 5.1.4. sont aussi valables pour cette partie.

A propos des corrélations que l'on trouve en plus dans le cas du module d'élasticité, nous savons que :

$$E = \frac{P}{f} \times K \quad * \quad ;$$

Pour une éprouvette à l'essai, cette formule montre que le module d'élasticité est directement proportionnel à la charge et inversement proportionnel à la flèche dans la zone des déformations élastiques.

Mais dans le cas des calculs de corrélation interviennent en plus entre éprouvettes les variations relatives de P et de F et on constate qu'il existe des coefficients positifs chez les arbres 1, 19 et 20 entre la charge correspondant à une flèche égale à 3 % de la portée et le module d'élasticité.

Il semble que chez ces individus ce soit la liaison entre P et E qui est prépondérante (tableau 14) au contraire nous avons vu que chez l'arbre 16 pour lequel P et E ne sont pas liés, c'est E et f qui conduisent à un coefficient négatif (tableau 12) ; chez cet individu c'est la liaison entre P et f qui semble être emporter.

Les arbres 1 et 9 sont intermédiaires entre ces deux cas puisque pour l'un, le 1 (tableaux 12 et 14) on trouve les deux coefficients de corrélations et pour l'autre aucun.

Un autre point remarquable, sur le tableau (14), est d'une part, les

---

* Elle a été expliquée au paragraphe (2.2.1.1.).

.../...

très fortes corrélations entre cette charge et la résistance à la compression axiale, notamment dans le cas de l'arbre n° 19 ; et d'autre part, les liaisons entre cette même charge et le pourcentage de bois à forte densité.

5.1.6. - CORRELATIONS ENTRE LE MODULE D'ELASTICITE ET LES AUTRES CARACTERES.

Nous n'avons observé que rarement des rapports entre le module d'élasticité du bois et les caractères étudiés ; comme nous l'avons déjà vu, il n'y en avait que pour trois arbres avec la largeur de cernes, pour deux arbres avec l'infradensité et la flèche de rupture, et pour trois arbres avec la charge correspondant à une flèche égale à 3 % de la portée. Le module d'élasticité étant un caractère très intéressant dans l'étude du bois, nous avons regroupé les corrélations trouvées (aux seuils de 1 %, 2 % et 5 %) même si elles ne sont observées que chez deux arbres seulement, dans le tableau 15 ci-dessous :

Tableau 15

Coefficients de corrélations significatifs aux seuils indiqués entre le module d'élasticité et les caractères étudiés.

Propriétés / Arbres n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Charge en compression axiale	+++ 0,47	+ 0,31	-	+++ 0,49	-
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	+++ 0,47	-	-	+++ 0,49	0,35 +++
Densité maximale	0,54 ++	-	-	-	0,59 +++
Densité minimale	0,56	-	-	-	0,57
Pourcentage de longueur radiale ou le bois a une densité égale ou supérieure de 600 g/dm3	+++ 0,71	-	-	+ 0,44	+++ 0,56

+++ significatif au seuil de 1 %
++ significatif au seuil de 2 %
+ significatif au seuil de 5 %

.../...

5.1.6.1. - Charge en compression axiale.

On remarque qu'il y a pour les arbres numéros 1 et 19 des corrélations significatives au seuil de 1 %, entre la compression axiale et le module d'élasticité ; pour l'arbre numéro 9 cette valeur est significative à 5 %.

5.1.6.2. - Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre.

Des corrélations existent entre ces deux grandeurs, précisément chez les arbres où le pourcentage de bois à forte densité est, lui aussi, lié au module d'élasticité.

5.1.6.3. - Pourcentage du bois à forte densité.

Les corrélations qui existent entre ce caractère et le module d'élasticité apparaissent peut-être par l'intermédiaire de la grandeur de l'angle micellaire et de la longueur des fibres dans le bois final, car ces deux caractéristiques exercent une influence sur le module d'élasticité WARDROPP A. B. (1951) (30).

Ces corrélations montrent que, là où on ne trouve aucune liaison avec des variables explicatives traditionnelles comme la densité ou la largeur de cernes, la prise en considération des composantes de la densité présente un intérêt tout particulier.

5.1.6.4. - Densité minimale.

La densité minimale traduit les caractéristiques instantanées du bois de printemps au départ de la végétation. A une

.../...

faible densité minimale correspond un faible module d'élasticité dans le cas des arbres 1 et 20, et donc une élasticité plus grande.

Nous avons montré ce rapport en donnant les droites de régression correspondantes pour l'arbre numéro 1 sur la Fig. (16) portée en annexe III.

5.1.6.5. - Densité maximale

Nous avons trouvé chez les deux mêmes arbres que ci-dessus, des corrélations entre ce caractère et le module d'élasticité.

A des densités extrêmes fortes, est lié, chez ces deux hêtres, un module d'élasticité plus élevé. Il semble toutefois que le phénomène puisse être rendu plus clair par l'étude de la première composante de la densité citée dans ce chapitre, c'est-à-dire la proportion de bois dépassent un certain seuil de densité.

5.1.7. - CORRELATIONS ENTRE LA CHARGE EN COMPRESSION AXIALE ET LES AUTRES CARACTERES.

Nous avons déjà présenté les rapports trouvés entre la compression axiale, la largeur de cernes, l'infradensité et les variables de la flexion statique. Pour ce qui est des autres variables, nous avons porté les coefficients de corrélation les plus forts (significatifs au seuil de 1 %) et les plus souvent observés (chez trois arbres au moins) dans le tableau 16 (page suivante).

.../...

Tableau 16

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre la charge en compression axiale et les autres caractères étudiés.

Propriété / Arbres n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Dureté	-	-0,38	-0,51	-0,65	-
Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,63	-	0,37	0,64	0,39
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	0,72	-	0,42	0,76	0,53
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,61	-	-	0,48	0,43
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air	0,56	-	0,35	0,64	0,50
Retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	0,47	0,51	0,45	0,59	0,48
Densité maximale	0,61	-	-	0,57	0,62

5.1.7.1 - Dureté.

Les corrélations entre ce caractère et la charge en compression axiale, traduisent le fait que lorsque la dureté du bois du hêtre augmente, il résiste mieux sous la charge axiale.

5.1.7.2. - Corrélation avec le retrait radial.

Selon les résultats, la charge en compression axiale et le retrait radial entre les trois états étudiés varient dans le même sens.

.../...

Etant donné que le retrait radial est en grande partie sous l'influence des parois radiales des éléments longitudinaux, et sous celle de la quantité de rayons ligneux (31), nous pouvons penser que les liens trouvés entre la compressionaxiale et le retrait radial peuvent résulter en partie des propriétés de ces éléments anatomiques.

5.1.7.3. - Corrélation avec le retrait tangentiel.

Nous avons obtenu également des corrélations entre la charge en compression axiale et le retrait tangentiel, de l'état saturé à l'état sec à l'air, et de l'état sec à l'air à l'état anhydre.

5.1.7.4. - Corrélation avec la densité maximale.

Nous avons trouvé des corrélations entre la densité maximale et la charge en compression axiale pour les arbres numéros 1, 19 et 20. Ainsi la densité des dernières couches de cellules d'accroissement annuel influe sur la charge en compression axiale. Remarquons, qu'ici seule une composante de la densité mesurée par la méthode radiographique a donné des liaisons avec cette caractéristique mécanique importante.

5.1.8. - CORRELATION ENTRE LA DURETE ET LES AUTRES CARACTERES.

Nous avons déjà mis en évidence les corrélations qui existent entre la dureté et les caractères précédemment expliqués. Dans le tableau (17) à la page suivante, nous avons regroupé les plus fortes corrélations obtenues avec les différents retraits, et les composantes de la densité.

.../...

Tableau 17

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre la dureté et les autres caractères étudiés.

Propriété / Arbre n°	Coefficients de corrélation				
	1	9	16	19	20
Retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air	-0,62	-0,49	-0,54	-0,50	-0,53
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre	-0,69	-0,63	-0,53	-0,54	-0,54
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air	-0,50	-	-0,46	-0,56	-0,52
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre	-0,60	-	-0,52	-0,56	-0,54
Densité maximale	-0,80	-0,73	-0,61	-0,63	-0,48
Densité minimale	-0,54	-	-0,52	-0,65	-
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3	-0,85	-0,79	-0,71	-0,86	-0,58

5.1.8.1. - Corrélation avec le retrait radial.

Selon les résultats trouvés, il y a des corrélations chez tous les arbres entre la dureté et le retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air et de l'état saturé à l'état anhydre ; les coefficients de corrélation sont plus forts dans le dernier cas.

.../...

5.1.8.2. - Corrélation avec le retrait tangentiel.

On trouve des rapports analogues, entre la dureté et le retrait tangentiel, sauf pour l'arbre numéro 9.

5.1.8.3. - Corrélation avec les composantes de la densité.

Nous avons obtenu des corrélations assez fortes entre la dureté et les trois composantes de la densité. La liaison entre la dureté et la densité minimale est moins souvent observée (trois cas sur cinq) que celle qui existe entre la même caractéristique et, la densité maximale ou la partie dont le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 qui correspond à une zone moins riche en vaisseaux, élaborée après la phase initiale de l'accroissement annuel.

5.1.9. - CORRELATIONS ENTRE LES DIFFERENTS RETRAITS ET LES AUTRES CARACTERES ETUDIES.

Nous avons déjà parlé des corrélations entre les différents retraits et les caractères autres que les composants de la densité. Dans cette partie, nous allons étudier des rapports qui existent entre le retrait et celles-ci (X 21, X 22, X 23). Le tableau 18 ci-dessous montre les corrélations les plus fortes (au seuil de 1 % au moins) et les plus fréquemment observées (trois cas sur cinq).

Tableau 18

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre les différents cas de retrait transversal et les composantes de la densité.

Arbre n°	Composantes de la densité	Retrait radial			Retrait tangentiel		
		saturé sec à l'air	saturé anhydre	sec à l'air anhydre	saturé sec à l'air	saturé anhydre	sec à l'air anhydre
1	X 21	-	0,52	0,50	-	-	-
	X 22	0,57	0,63	0,52	0,60	0,51	-
	X 23	0,74	0,77	0,64	0,68	0,65	-
9	X 21	-	-	-	0,52	0,49	-
	X 22	0,54	0,65	-	-	-	-
	X 23	0,56	0,67	-	-	-	-
16	X 21	-	-	-	-	-	-
	X 22	-	-	-	0,52	-	-
	X 23	-	0,46	-	0,63	0,54	-
19	X 21	0,46	0,55	0,44	0,71	0,70	0,45
	X 22	0,61	0,77	0,62	0,64	0,71	0,56
	X 23	0,55	0,79	0,73	0,73	0,82	0,59
20	X 21	-	0,48	-	-	0,53	0,62
	X 22	0,49	0,76	0,67	0,70	0,74	0,64
	X 23	0,56	0,81	0,68	0,79	0,84	0,71

.../...

Ces résultats nous conduisent aux observations suivantes :

1°) La plus forte corrélation se trouve entre le retrait transversal et le pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 (X 23).

2°) Les relations entre X 23 et le retrait tangentiel sont plus étroites qu'entre X 23 et le retrait radial, chez les arbres 16, 19 et 20, et l'inverse est vrai pour les arbres 1 et 9.

3°) La relation entre X 23 et le retrait de l'état sec à l'air à l'état anhydre est la moins souvent observée, mais elle est en général plus forte dans le cas du retrait radial que dans celui du retrait tangentiel.

4°) L'effet de la densité minimale (X 22) sur le retrait est intéressant à noter, mais il est moins accentué dans tous les cas que l'effet de X_{23}.

5°) La relation entre la densité minimale et le retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air est plus étroite qu'avec le retrait radial entre les mêmes états.

6°) La densité maximale ne joue pas un rôle aussi net que les deux autres composantes sur le retrait transversal.

En ce qui concerne les corrélations entre le retrait longitudinal et les composantes de la densité, nous avons trouvé des coefficients négatifs, pour la densité minimale et le pourcentage du bois à forte densité pour deux cas (tableau 18 bis).

Tableau 18 bis

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre le retrait longitudinal et les composantes de la densité.

Arbre n°	Composantes de la densité	Retrait longitudinal		
		saturé sec à l'air	saturé anhydre	sec à l'air anhydre
19	X 22	-	-0,53	-0,58
	X 23	-	-0,45	-0,50

.../...

Dans le cas de cet arbre, ce phénomène peut être rapproché des observations faites par KOEHLER (1946) sur Sequoia sempervirens et par SIIMES (1938) sur le Pin Sylvestre suivant laquelle le retrait longitudinal augmente quand la densité diminue. Les composantes de la densité permettent de préciser ce résultat.

Ainsi, les phénomènes décrits ci-dessus nous amènent à dire que le facteur le plus important à considérer dans l'étude du retrait transversal chez Fagus Orientalis est le pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3, que la densité minimale joue aussi un rôle dans ces changements dimensionnels, et que la zone finale de l'accroissement annuel intervient moins nettement dans l'analyse de ce caractère.

Nous avons présenté pour l'arbre numéro 1, les rapports entre le bois à forte densité et la densité minimale dans le cas des retraits tangentiel et radial, de l'état saturé à l'état sec à l'air, par leurs droites de régression sur les figures (17) (18) (19) (20) portées en annexe III.

5.1.10. - CORRELATION ENTRE LES COMPOSANTES DE LA DENSITE

Dans les derniers paragraphes, nous avons étudié les corrélations qui existent entre les composantes de la densité, la largeur de cernes, l'infradensité, les caractéristiques mécaniques et les différents cas de retrait. Ici, nous présentons dans le tableau 19 (page suivante) les corrélations qui existent entre les diverses composantes de la densité.

.../...

Tableau 19

Coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 % entre les composantes de la densité.

N° d'arbre	1			9			16			19			20		
Composantes de la densité	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{21}	X_{22}	X_{23}
X_{21}	1	0,58	0,73	1	-	0,56	1	-	0,53	1	0,45	0,74	1	-	0,57
X_{22}	0,58	1	0,89	-	1	0,79	-	1	0,82	0,45	1	0,82	-	1	0,92
X_{23}	0,73	0,89	1	0,56	0,79	1	0,53	0,82	1	0,74	0,82	1	0,57	0,92	1

Selon ces résultats nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

1°) Le rapport entre la densité maximale (X_{21}) et minimale (X_{22}) est relativement faible et il n'est observé que dans deux cas sur cinq.

2°) Le rapport entre la densité maximale (X_{21}) et le pourcentage du bois à forte densité (X_{23}) est assez fort, et il est observé dans les cinq cas étudiés.

3°) Les coefficients de corrélation entre la densité minimale (X_{22}) et ce même (X_{23}) sont les plus forts et ils sont observés dans les cinq cas étudiés.

Ainsi les accroissements annuels qui contiennent une partie plus importante du bois final commencent aussi par élaborer du bois plus dense et se terminent avec une densité maximale élevée. Mais un accroissement annuel commençant avec une densité minimale élevée ne produit pas toujours un bois final

.../...

à densité maximale élevée, car les corrélations entre densité minimale et maximale ne sont pas toujours observées.

Nous avons montré la relation de la densité minimale avec le pourcentage de longueur où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 dans le cas de l'arbre numéro 1 sur la figure (21) portée en annexe III.

Rappelons que des composantes de la densité à valeurs élevées sont liées positivement avec les largeurs de cernes et que par conséquent des pratiques sylvicoles appropriées pourraient avoir une influence sur ces composantes dont la prise en considération présente beaucoup d'intérêt, comme on l'a vu, dans les tentatives d'explication des divers phénomènes observés.

5.2. - HIERARCHIE DES DIVERS CARACTERES EXPLICATIFS.

Ces études nous ont donné une idée de l'importance des rapports qui existent entre les diverses caractéristiques du bois du hêtre. Ainsi nous avons constaté les relations qui existent entre les caractères explicatifs, (largeur de cernes, infradensité, composantes de la densité) et les caractères à expliquer (mécaniques et physiques). Dans ce paragraphe, nous isolons les caractères explicatifs pour voir, dans l'ensemble, comment ils sont liés aux changements des autres caractères. Le tableau 20 regroupe ces résultats pour les cinq arbres.

En regroupant les variables explicatives d'une part et expliqués d'autre part, on aboutit aux nombres des corrélations significatives suivants ;

.../...

Tableau 20

Liste des coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1% entre caractères explicatifs (largeur de cernes, infradensité et composantes de densité) et les caractéristiques mécaniques et physiques.

Arbre	1					9				
Caractères	X_1	X_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_1	X_2	X_{21}	X_{22}	X
X_3	-	-	-	-	-	-	0,48	0,62	-	
X_4	0,47	-	-	-	-	-	0,77	-	0,56	0
X_5	0,60	-	-	-	0,64	-	-	-	0,65	0
X_6	0,47	0,48			0,71	-	-	-	-	-
X_7	0,55	0,69	0,61	0,78	0,84	-	0,57	-	-	-
X_8	-0,51	-0,81	-0,80	-0,54	-0,85	-0,54	-0,73	-	-0,73	-0,
X_9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{10}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{11}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{12}	0,56	0,69	-	0,57	0,74	0,58	0,41	-	0,54	0,
X_{13}	0,61	0,75	0,52	0,63	0,77	0,65	0,58	-	0,65	0,
X_{14}	0,49	0,57	0,50	0,52	0,64	-	0,52	-	-	-
X_{15}	0,41	0,56	-	0,60	0,68	-	0,47	0,52	-	-
X_{16}	0,61	0,61	-	0,51	0,65	-	0,55	0,49	-	-
X_{17}	0,61	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{18}	-	-	-	0,69	-	-	-	-	-	-
X_{19}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{20}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	16				19					20				
	X_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_1	X_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_1	X_2	X_{21}	X_{22}	X_{23}
	–	–	–	–	–	0,48	–	–	–	0,51	0,49	0,63	–	–
	0,55	–	–	–	0,71	0,79	0,56	0,78	0,79	0,79	0,84	0,77	0,56	0,75
	–	–	–	–	0,75	–	0,63	0,76	0,81	0,61	–	0,73	0,64	0,66
	–	–	–	–	0,45	0,47	–	–		0,42	–	0,59	0,57	0,56
7	0,65	–	–	–	0,71	0,72	0,57	0,72	0,75	0,73	0,46	0,62	–	–
0	–0,68	–0,61	–0,52	–0,71	–0,66	–0,77	–0,65	–0,63	–0,86	–0,36	–0,61	–0,48	–	–0,58
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–0,53	–0,45	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–0,38	–	–0,58	–0,50	–	–	–	–	–
4	0,56	–	–	–	0,62	0,59	0,46	0,61	0,55	0,36	0,43	–	0,49	0,56
0	–	–	–	0,46	0,70	0,72	0,55	0,77	0,79	0,59	0,74	0,48	0,76	0,81
	0,36	–	–	–	0,43	0,53	0,44	0,62	0,73	0,55	0,51	–	0,67	0,68
8	0,48	–	0,52	0,63	0,80	0,72	0,71	0,64	0,73	0,73	0,75	–	0,70	0,79
1	0,66	–	–	0,54	0,84	0,75	0,70	0,71	0,82	0,81	0,81	0,53	0,74	0,84
	0,48	–	–	–	0,69	0,64	0,45	0,56	0,59	0,78	0,73	0,62	0,64	0,71
	–	–	–	–	–	0,59	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	0,58	–	–	–	–	0,54	–	–	0,80	–	–	–	–	–

	Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques physiques	total
Composantes de la densité	45	59	104
Infradensité	22	29	51
Largeur de cernes	19	24	43

Ainsi nous pouvons constater qu'en général les rapports des caractères explicatifs avec les autres caractères sont de moins en moins étroits si l'on classe les premiers dans l'ordre suivant ;

- composantes de la densité
- infradensité
- largeur de cernes.

Ce sont les composantes de la densité qui ont le plus d'affinité avec les propriétés du bois.

Elles sont positivement liées avec le retrait transversal. Leurs coefficients de corrélation avec le retrait tangentiel sont plus forts, mais moins fréquemment observés, que ceux qui existent avec le retrait radial. Ces phénomènes apparaissent surtout lorsque les éprouvettes passent de l'état saturé à l'état sec à l'air, or c'est justement les variations entre ces deux états de siccité qui sont à considérer lors de la conduite de séchage.

La densité minimale et le pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 sont inversement liées avec le retrait longitudinal chez l'arbre numéro 19.

.../...

Pour ce qui est des caractéristiques mécaniques, les coefficients de corrélation avec les composantes de la densité, les plus significatifs s'observent dans le cas de la dureté ; viennent ensuite, la flexion statique, la charge en compression axiale, la résistance au choc et la résistance à la traction exercée parallèlement aux rayons ligneux.

Dans les deux types de mesures, physiques et mécaniques, on remarque que l'intensité de liaisons est la plus grande lorsqu'on considère, comme variable explicative, le pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 et qu'elle est le plus souvent un peu moins forte lorsqu'on s'adresse à la densité minimale ou à la densité maximale. Ces deux dernières variables ne font cependant pas double emploi avec la précédente car elles peuvent renseigner sur les aptitudes technologiques du bois : leur différence, par exemple, est un moyen d'apprécier l'hétérogénéité de ce matériau qui serait un caractère particulièrement important à étudier dans le but d'une utilisation éventuelle de Fagus Orientalis en déroulage.

La largeur de cernes et l'infradensité sont des variables classiques, liées elles aussi aux diverses propriétés du bois mais, sauf exception, d'une façon plus lâche que les composantes de la densité. Nous considérons que ces dernières sont des indications plus précises des aptitudes des échantillons étudiés et nous nous servirons de ces résultats pour porter un jugement sur la qualité de trois stations de hêtre chez lesquelles ont été effectués des sondages à la tarière.

.../...

Parmi ce qui est des caractéristiques mécaniques, le [illegible] avec les composantes de la densité, les plus [illegible] dans le cas de la dureté ; viennent ensuite, la flexion [illegible] compression axiale, la résistance du choc et la résistance [illegible]

Dans les deux types de mesures, physiques et mécaniques, on [illegible] [illegible] de liaisons est la plus grande lorsqu'on considère [illegible] le pourcentage de la gamme [illegible] [illegible] supérieure à 600 g/dm3 et qu'elle est le plus [illegible] un peu moins [illegible] [illegible] à la densité minimale ou à la densité maximale. Des [illegible] [illegible] [illegible]

5.3. - ETUDE GENRALE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ENTRE LES MOYENNES DES DIVERSES VARIABLES SUR L'ENSEMBLE DES 25 ARBRE

L'étude particulière des coefficients de corréoation sur chacun des cinq arbres, nous a permis de mettre en évidence des relations entre les divers caractères et des facteurs faciles à mesurer tels que, la largeur de cernes, l'infradensité et les composantes de la densité.

Nous avons calculé aussi pour le peuplement les corrélations entre les 25 couples des moyennes des variables prises deux à deux et correspondant aux 25 arbres de la station.

Nous avons fait intervenir en plus l'âge étant donné qu'il peut exercer une influence sur l'évolution des caractères étudiés.

Pour les corrélations calculées dans le cas particulier de cinq arbres, et arbre par arbre, nous avons trouvé des différences importantes d'un arbre à l'autre dans la valeur des coefficients. Il est apparu ainsi que chacun des arbres avait un comportement propre ; par exemple les arbres 9 et 16 sont assez pauvres en corrélations significatives par rapport aux arbres 1, 19 et 20. Nous avons voulu voir dans quelle mesure des corrélations existnet ou non chez cinq arbres se retrouveraient ou non lorsqu'on considérait les moyennes des variables étudiées pour les 25 arbres de la station.

Dans le premier cas nous avons des corrélations à caractère individuel, qui ont permis de mettre en évidence des liens de variables à variables, dans le second, des corrélations entre elles qui donnent des indications sur les liaisons entre les propriétés moyennes d'une station. Lorsqu'on considère deux caractères donnés nous pouvons donc observer des liaisons à la fois au niveau individuel et au niveau de la station, ou uniquement générales, à l'un

.../...

ou à l'autre de ces 2 niveaux, ou enfin une absence complète de liaisons.

Nous dirons que la corrélation est générale lorsqu'elle est observée à la fois au sein de l'individu et entre les individus.

La matrice des coefficients de corrélation entre arbres est donnée au tableau 21 porté en annexe II.

Nous pouvons faire les remarques suivantes au sujet des diverses variables.

5.3.1. - LARGEUR DE CERNES.

5.3.1.1. - Corrélations générales.

Elle est liée à l'infradensité, au seuil de 5 % au niveau de la station et au seuil de 1 % au niveau individuel.

Sa liaison avec les caractéristiques mécaniques semble être plus forte qu'avec les caractéristiques physiques ; avec les uns ou les autres elle est plus forte au niveau individuel qu'au niveau de la station.

Pour ce qui est des caractéristiques mécaniques, elle est en relation avec :

- la résistance à la flexion statique,
- la résistance à la compression axiale,
- la dureté.

Pour ce qui est des caractéristiques physiques elle est liée avec :

.../...

- le retrait axial de l'état saturé à l'état sec à l'air,
- le retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre.

5.3.1.2. - Corrélations entre arbres.

La largeur de cerne est en relation avec la résistance à la traction transversale appliquée parallèlement aux rayons ligneux au seuil de 5 %.

5.3.2. - INFRADENSITE.

5.3.2.1. - Corrélations générales.

Elle est liée au seuil 1 % (aussi bien au niveau individuel qu'au niveau de la station) avec toutes les caractéristiques mécaniques. Elle est plus rarement en corrélation avec les caractéristiques physiques.

Sa liaison avec le retrait transversal est plus fort et plus souvent observé au niveau individuel qu'au niveau de la station.

5.3.3. - LA FLECHE A LA RUPTURE.

5.3.3.1. - Corrélations générales.

Elle est plus liée aux caractéristiques mécaniques qu'aux caractéristiques physiques.

Pour ce qui est des caractéristiques mécaniques, elle est surtout liée à la charge en flexion statique.

.../...

Pour ce qui est des caractéristiques physiques, elle est bien liée avec le retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre, et cette corrélation est plus étroite au niveau individuel qu'au niveau de la station.

5.3.3.2. - Corrélations particulières.

Nous avons obtenu également des corrélations entre la flèche et les caractéristiques mécaniques, à savoir :

- au niveau de la station avec :

la compression axiale, la dureté, la résistance au choc et la traction perpendiculaire aux rayons ligneux,

-au niveau individuel avec le module d'élasticité. Pour les caractéristiques physiques il existe des liaisons significatives entre la flèche et

- le retrait transversal au niveau individuel
- le retrait longitudinal au niveau de la station

5.3.4. - LA CHARGE A LA RUPTURE.

5.3.4.1. - Corrélations générales.

Elle est en corrélation plus étroite avec les caractéristiques mécaniques qu'avec les caractéristiques physiques. Elle est liée avec les caractéristiques mécaniques suivantes :

- charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée (la liaison est presque fonctionnelle, le coefficient valant 0,98 pour 23 degrés de liberté.)

- module d'élasticité,
- charge en compression axiale,
- la dureté,

ainsi qu'avec les caractéristiques physiques suivantes :

- retrait radial,
- retrait tangentiel.

Dans les deux cas, aussi bien de l'état saturé à l'état sec à l'air que de l'état saturé à l'état anhydre ; pour le retrait radial la liaison est plus forte au niveau individuel qu'au niveau de la station.

5.3.4.2. - Corrélations entre arbres.

La charge à la rupture est en corrélation avec :

- la résistance au choc,
- la résistance à la traction exercée perpendiculairement aux rayons ligneux.

5.3.5. - LA CHARGE A 3 % DE LA PORTEE.

5.3.5.1. - Corrélations générales.

Nous trouvons à peu près les mêmes corrélations que celles que nous avons observées dans le cas de la charge à la rupture, sauf pour le retrait radial.

Mais pour ce qui est du module d'élasticité, la corrélation est plus forte et plus souvent exercée avec la charge à 3 % qu'avec la charge à la rupture et le coefficient de corrélation vaut 0,79 pour 23 degrés de liberté.

.../...

5.3.6. - LE MODULE D'ELASTICITE

5.3.6.1. - Corrélations générales.

Il est plus lié aux caractéristiques mécaniques qu'aux caractéristiques physiques.

Dans le cas des caractéristiques mécaniques, la corrélation la plus élevée est celle qui existe avec la compression axiale.

5.3.6.2. - Corrélations entre arbres.

- Il est très lié avec la dureté.
- Il présente une liaison négative avec le retrait longitudinal, surtout de l'état saturé à l'état sec à l'air.
- Il est en relation directe avec le retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre.

5.3.7. - LA COMPRESSION AXIALE.

5.3.7.1. - Corrélations générales.

Elle est liée avec les caractéristiques mécaniques ainsi que, à un moindre degré, avec les caractéristiques physiques.

- La corrélation est très étroite avec la dureté.
- La compression axiale est plus fortement liée au retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre qu'au retrait radial entre les mêmes états.

.../...

5.3.7.2. - Corrélations entre les arbres.

La compression axiale est inversement liée avec le retrait axial.

5.3.8. - LA DURETE.

5.3.8.1. - Corrélations générales.

Elle est liée avec presque toutes les caractéristiques mécaniques ainsi qu'avec les caractéristiques physiques, sauf le retrait longitudinal.

Sa corrélation est plus forte avec le retrait tangentiel qu'avec le retrait radial.

5.3.8.2. - Corrélation entre arbres.

La dureté est liée avec la résistance au choc.

Une corrélation négative existe entre elle et le retrait longitudinal de l'état saturé à l'état sec à l'air.

5.3.9. - LES DIVERS RETRAITS.

On n'a des résultats qu'entre arbres pour ces variables.

Le retrait axial ne présente aucune corrélation significative avec les autres retraits. Retraits tangentiels et retraits radiaux sont par contre liés entre eux de l'état saturé à l'état sec à l'air et de l'état saturé à l'état anhydre.

.../...

- Les retraits radial et tangentiel sont en rapport avec la résistance à la traction effectuée parallèlement et surtout perpendiculairement aux rayons ligneux.

C'est le retrait tangentiel qui présente la plus grande parenté avec la résistance à la traction perpendiculairement aux rayons ligneux.

5.3.10. - RESISTANCE A LA TRACTION TRANSVERSALE.

Les résistances à la traction perpendiculairement et parallèlement aux rayons ligneux sont liées entre elles au niveau de la station.

5.3.11. - L'AGE DE L'ARBRE.

Nous n'avons évidement pas pu calculer pour cette grandeur que des corrélations entre arbr

L'âge exerce une influence sur presque toutes les caractéristiques du bois ; quand il augmente la résistance mécanique, la largeur de cernes, l'infradensité et le retrait transversal diminuent, mais le retrait axial s'aggrave.

Dans l'ensemble, et sans préjuger du developpement possible avec l'âge de certains défauts tels que pourriture, bois de coeur anormal etc... Il apparaît que des arbres plus vieux seront plus aptes à des utilisations nobles comme le déroulage, ou l'ébénisterie qui requièrent des bois tendres et peu nerveux. L'augmentation du retrait axial ne doit pas inquiéter outre mesure car dans le plus mauvais cas (arbre n° 17) il n'atteint que 0,70% entre l'état saturé et l'état sec à l'air, ce qui est presque négligeable.

.../...

6- COMPARAISONS DE MOYENNES ET CLASSEMENT DES ARBRES ETUDIES POUR LES DIVERSES CARACTERISTIQUES.

Dans ce chapitre, nous avons procédé à des tests de comparaisons multiples de moyennes (tests F) pour vérifier si les arbres, d'où proviennent les séries de mesure, peuvent être considérés comme semblables pour telle ou telle propriété ou bien s'ils se différencient significativement dans leur ensemble. D'après les résultats de cette étude nous avons regroupé à l'aide de la méthode déjà décrite au chapitre 3 les individus dont les moyennes ne peuvent être considérés comme statistiquement différentes.

6.1. - COMPARAISONS DE MOYENNES.

Les valeurs relatives à chaque propriété sont regroupées dans les tableaux suivants où figurent également les valeurs de F. qui sont toutes largement supérieures au seuil de signification de 1 %.

.../...

6.1.1. - TABLEAU DES CARACTERSITIQUES PHYSIQUES.

Caractéristiques	Unité	Valeurs extrêmes et moyenne			Valeur de F
Largeur de cernes	mm	0,9	1,46	2,7	$F^{890}_{24} = 31,1$
Infradensité	g/dm3	477	537	591	$F^{863}_{24} = 61,1$
Retrait axial	%				
de l'état saturé à l'état sec à l'air		0,24	0,42	0,70	$F^{833}_{24} = 6,7$
de l'état saturé à l'état anhydre		0,04	0,24	0,72	$F^{833}_{24} = 14,5$
de l'état sec à l'air à l'état anhydre		-0,33	-0,18 *	0,17	$F^{833}_{24} = 11,0$
Retrait radial	%				
de l'état saturé à l'état sec à l'air		3,1	3,7	4,6	$F^{819}_{24} = 15,3$
de l'état saturé à l'état anhydre		4,6	5,2	6,1	$F^{819}_{24} = 13,6$
de l'état sec à l'air à l'état anhydre		1,1	1,4	1,8	$F^{819}_{24} = 13,0$
retrait tangentiel	%				
de l'état saturé à l'état sec à l'air		8,5	9,5	11,3	$F^{819}_{24} = 13,5$
de l'état saturé à l'état anhydre		11,0	12,3	14,1	$F^{819}_{24} = 13,3$
de l'état sec à l'air à l'état anhydre		1,9	2,6	3,1	$F^{819}_{24} = 18,5$

* (Voir page suivante)

* Le retrait axial négatif de l'état sec à l'air à l'état anhydre a été attribué à l'orientation des fibrilles dans la paroi secondaire des fibres par MADDERN HARRIS et MEYLAN (1965) dans leurs travaux sur Pinus Radiat quand l'angle des fibrilles est voisin de 20 degrés par rapport à l'axe de cellules, on observe un retrait axial négatif lors du séchage. Selon les travaux du Laboratoire des produits forestiers des Etats-Unis ; l'allongement du bois au cours du séchage est un effet courant (32).

6.1.2. - TABLEAU DES CARACTERISTIQUES MECANIQUES.

Caractéristiques	Unité	Valeurs extrême et moyenne			Valeur de F
Flèche à la rupture	mm	9,0	[illegible]	15,3	$F^{780}_{24} = 18,9$
Charge de rupture	[illegible]	[illegible]	51,3	67,1	$F^{780}_{24} = 76,0$
Charge produisant une déformation égale à 3 % de la portée	[illegible]	[illegible]	[illegible]	58,9	$F^{696}_{24} = 78,6$
Module d'élasticité	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	$F^{780}_{24} = 15,0$
Charge en compression axiale	[illegible]	[illegible]	[illegible]	664	$F^{877}_{24} = 36,1$
Dureté (largeur de l'empreinte)	mm	[illegible]	6,3	7,8	$F^{877}_{24} = 63,7$
Traction transversale parallèlement aux rayons ligneux	kg/cm2	28,4	[illegible]	38,9	$F^{339}_{23} = 7,66$
Traction transversale perpendiculairement aux rayons ligneux	kg/cm2	25,1	27,1	34,8	$F^{310}_{23} = 6,6$
Résistance au choc	kgm/cm2	[illegible]	[illegible]	[illegible],16	$F^{86}_{9} = 11,10$

.../...

6.1.3. - TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DENSITOMETRIQUES RELATIVES A CINQ ARBRES.

Caractéristiques	Unité	Valeur extrême et moyenne			Valeur de F
Densité maximale	g/dm3	776	810	834	$F_{4}^{138} = 4,5$
Densité minimale	g/dm3	432	471	501	$F_{4}^{138} = 10,5$
Longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3	%	35,7	49,2	60,8	$F_{4}^{138} = 7,9$

Selon ces résultats, l'infradensité a une très grande variabilité, ainsi que la largeur de cernes.

Les caractéristiques mécaniques sont beaucoup plus variables que les caractéristiques physiques. Parmi les caractéristiques mécaniques les plus variables on trouve la charge en flexion statique. La moins variable est la résistance à la traction exercée perpendiculairement aux rayons ligneux. Parmi les caractéristiques physiques les plus variables, on trouve le retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre ; la moins variable au contraire est observée dans le cas du retrait axial de l'état saturé à l'état sec à l'air. Les composantes de la densité présentent une plus grande homogénéité, ce qui, on l'a vu, n'empêche pas qu'elles soient de très bons critères dans l'étude de la qualité des bois.

.../...

			Valeur de F
			$F_{4}^{138} = 4,5$
			$F_{4}^{138} = 10,5$
			$F_{4}^{138} = 7,9$

6.2. - CLASSEMENT DES ARBRES.

Les tableaux des comparaisons de moyennes portés en annexe IV regroupent les individus dont les valeurs moyennes pour chaque caractère ne sont pas différentes au seuil considéré. Les individus semblables aux risques de 5 % et de 1 % sont reliés par un crochet. D'après ces tableaux nous pouvons faire les remarques suivantes :

1°) L'arbre numéro 3 est le plus dense, son infradensité est égale à 591 g/dm3 ; et il est bien différent des autres individus. Cet arbre a la plus grande résistance à la flexion statique, à la résistance en traction exercée perpendiculairement aux rayons ligneux et il est le plus dur ; il est aussi dans les premières places au point de vue de la résistance en compression axiale. Ainsi il présente les qualités d'un bois de soutênement et de traverses à condition qu'il soit protégé avant l'usage par un traitement d'imprégnation, car l'échauffure, qui atteint souvent le bois du hêtre affaiblit considérablement sa résistance mécanique et en particulier sa résistance à la flexion dynamique qui peut tomber à 30 ou 40 % de sa valeur normale (33), à la suite de cette dégradation.

Il a un fort pourcentage de bois à densité élevée, ce qui le rend aussi apte à une destination papetière.

2°) L'arbre numéro 19 lui est opposé par sa plus faible infradensité, 477 g/dm3, son bois plus tendre, moins résistant à la compression axiale et à la flexion statique ; au contraire il présente la plus faible rétractibilité tangentielle et radiale de l'état saturé à l'état sec à l'air (son retrait volumétrique dans ce cas vaut 12,3 %) et, de plus l'analyse densitométrique révèle qu'il a un faible pourcentage de bois d'été (40,5 %). En admettant qu'un hêtre de haute qualité, apte au déroulage ou facile à travailler, doive présenter une faible rétractibilité volumétrique au séchage, et être riche en

.../...

vaisseaux donc tendre et léger, l'arbre numéro 19 est un bon exemple de ce qu'il faut chercher à produire.

Le point remarquable pour ces deux arbres, qui sont opposés du point de vue de toutes les qualités physiques et mécaniques, c'est leurs largeurs de cernes qui sont presque égales (1,2 mm pour l'arbre numéro 19 et 1,3 pour l'arbre numéro 3).

Cela est une raison pour ne pas choisir les hêtres du pont de vue de leur usage uniquement d'après la largeur de cernes.

En effet, selon nos observations sur les moyennes, la densité du hêtre tend à augmenter subitement une fois que la largeur dépasse 1,2 mm.

Les arbres du milieu du tableau présentent des propriétés intermédiaires pour chaque caractéristique ; par exemple, pour la flexion statique, les arbres 14, 22, 8, 10 et 24, pour la compression axiale, les arbres 22, 10, 8, 21 et 4, pour la dureté, les arbres numéros 9, 24, 21, 14 et 10 pour le retrait transversal, les arbres 15, 11, 13, 9 et 17.

Ceux qui sont à l'extrêmité droite du tableau pour les caractéristiques physiques sont les meilleurs pour les usages fins et le déroulage.

Les arbres qui sont à l'extrêmeité gauche pour les caractéristiques mécaniques sont ceux qui résistent le mieux aux diverses charges.

Ces tableaux peuvent nous fournir des renseignements pour sélectionner des individus particulièrement intéressants, et pour déterminer une méthode d'aménagement de la forêt, propre à favoriser la production d'un bois d'une qualité donné.

.../...

L'étude du classement des cinq arbres en fonction des résultats densitométriques fait apparaître l'intérêt de variables telles que la densité maximale et l'écart entre cette dernière et la densité minimale.

.../...

7- QUALIFICATION DES TROIS STATIONS, A, B, et C A PARTIR DES CARACTERISTIQUES DENSITOMETRIQUES.

Ce chapitre a pour but d'étudier la qualité de hêtres répartis en trois gammes d'altitude dans le peuplement déjà décrit au chapitre 2.

D'après nos remarques sur les composantes de la densité portées au chapitre précèdent, nous n'étudions ici que les caractéristiques explicatives suivantes : composantes de la densité, infradensité et la largeur de cernes. Nous avons en plus cherché à connaître l'homogénéité des hêtre de ces stations et nous avons utilisés pour cela la différence entre la densité maximale moyenne et la densité minimale moyenne.

7.1. - PRESENTATION DES RESULTATS.

Le tableau 22 (page suivante) regroupe les moyennes des caractéristiques trouvées.

.../...

Tableau 22

Valeurs moyennes de caractéristiques de 3 stations ; A, B et C.

Caractéristiques	Station A 750 m	Station B 1000 m	Station C 1250 m
Largeur de cerne (mm)	2,18	1,46	1,40
Infradensité de la carotte complète (g/dm3)	555	533	529
Infradensité des 20 dernières années (g/dm3)	549	521	514
Densité maximale (g/dm3)	820	718	681
Densité minimale (g/dm3)	541	485	477
Longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3 (%)	62,6	34,5	29,8
Densité maximale - Densité minimale (g/dm3)	279	233	204

7.1.1. - LARGEUR DE CERNES.

La station A située à basse altitude présente une croissance plus rapide que les deux autres stations.

La croissance moyenne des arbres y est de 2,18 mm. par an sur le rayon. Les deux autres stations ; B et C présentent en poyenne presque le même accroissement. (1,46 mm pour la première et 1,40 mm pour la deuxième).

.../...

7.1.2. - INFRADENSITE.

La valeur moyenne de cette caractéristique pour les carottes complètes, de l'écorce jusqu'au coeur (pour A = 555 g/dm3, pour B = 533g/dm3 et pour C = 529 g/dm3) est plus élevée dans chaque station, que l'infradensité des 20 dernières années qui sont pour A, 549 g/dm3, pour B, 521 g/dm3 et pour C, 514 g/dm3. Quelle que soit la station, les arbres, ont, au début de leur vie, élaboré une matière ligneuse plus dense, ce qui explique que la densité moyenne pour la carotte complète est supérieure à celle des 20 dernières années.

L'infradensité de la station située à basse altitude, 750 m est supérieure à celle de la station située à 1000 m elle-même supérieure à celle de la station située à 1250 m d'altitude à la fois dans le cas de la carotte complète et dans celui des 20 dernières années.

7.1.3. - COMPOSANTES DE LA DENSITE.

Selon nos résultats, la production de la matière ligneuse dans la station A située à 750 m est supérieure à celle de la station B située à 1000 m qui est elle-même supérieure de la station C située à 1250 m.

Nous remarquons que la période de la végétation pour la station A, commence avec l'élaboration d'un bois initial plus dense que pour les stations B et C (densité minimale la plus élevée), et se termine aussi avec la formation du bois final plus dense (densité maximale la plus élevée), tout en étant caractérisée par une plus grande quantité de bois ayant une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3.

Nous pouvons d'ailleurs vérifier ces observations sur les courbes densitométriques de l'arbre type de chaque station portée sur les figures 9, 10 et 12 du chapitre 2.

.../...

7.1.2. - INFRADENSITE.

La valeur moyenne de cette caractéristique pour les carottes complètes, de l'écorce jusqu'au coeur (pour A = 555 g\dm3, pour B = 533g\dm3 et pour C = 529 g\dm3) est plus élevée dans chaque station, que l'infradensité des 20 dernières années qui sont pour A, 549 g\dm3, pour B, 521 g\dm3 et pour C, 514 g\dm3. Quelle que soit la station, les arbres, ont, au début de leur vie, élaboré une matière ligneuse plus dense, ce qui explique que la densité moyenne pour la carotte complète est supérieure à celle des 20 dernières années.

L'infradensité de la station située à basse altitude, 750 m est supérieure à celle de la station située à 1000 m elle-même supérieure à celle de la station située à 1250 m d'altitude à la fois dans le cas de la carotte complète et dans celui des 20 dernières années.

7.1.3. - COMPOSANTES DE LA DENSITE.

Selon nos résultats, la production de la matière ligneuse dans la station A située à 750 m est supérieure à celle de la station B située à 1000 m qui est elle-même supérieure de la station C située à 1250 m.

Nous remarquons que la période de la végétation pour la station A, commence avec l'élaboration d'un bois initial plus dense que pour les stations B et C (densité minimale la plus élevée), et se termine aussi avec la formation du bois final plus dense (densité maximale la plus élevée), tout en étant caractérisée par une plus grande quantité de bois ayant une densité égale ou supérieure à 600 g\dm3.

Nous pouvons d'ailleurs vérifier ces observations sur les courbes densitométriques de l'arbre type de chaque station portée sur les figures 9, 10 et 12 du chapitre 2.

.../...

7.1.4. - HOMOGENEITE.

La station C située à haute altitude (1250 m) forme le bois le plus homogène, car la différence entre la densité maximale et minimale moyennes pour les 20 dernières années pour cette station est inférieure à celle de la station A (les valeurs de ce critère d'hétérogénéité sont respectivement de 204, 233 et 279 g/dm3).

L'explication de cette différenciation est peut-être à chercher dans des conditions du milieu qui se reflèterait également dans les différences observées entre les couches annuelles.

7.2. - COMPARAISONS DES MOYENNES.

Pour savoir si les moyennes des mesures observées, varient significativement dans leur ensemble entre les stations nous avons fait une analyse de variance pour chaque caractère. Les résultats obtenus (les valeurs de F), sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Valeurs de F pour les différentes caractéristiques.

(toutes sont significatives au seuil de 1 %)

Caractéristiques	Largeur de cernes	Infradensité de la carotte complète	Infradensité des 20 dernières années	Densité Maximale	Densité minimale	% du bois à une densité ≥ à 600 g/dm3	différence entre la densité max. et la densité min.
F^{2}_{87}	14,61	10,24	11,2	35,23	13,30	22,57	22,99

.../...

Selon ces données,

1°) Le facteur le plus variable est la densité maximale ; les dernières couches des cellules dans les accroissements annuels présentent la plus grande variabilité d'une station à l'autre. La couche correspondant au début de la saison de végétation correspond à des éléments dont les densités varient aussi dans les 3 stations.

2°) Le facteur le moins variable entre les arbres des 3 stations sont l'infradensité des 20 dernières années et l'infradensité globale.

7.3. - CLASSEMENT DES TROIS STATIONS.

Les résultats des tests de DUNCAN sont portés sur le tableau (page suivante) ; les stations dont les valeurs moyennes, pour chacun des caractères envisagés, ne sont pas significativement différentes, aux seuils de 1 % et de 5 %, sont regroupés dans un même crochet.

.../...

Tableau de comparaisons de moyennes (tests de DUNCAN), relatif aux trois stations A, B et C.

Propriétés	Altitude de la station			Seuil de signification
	750 m	1000 m	1250 m	
Largeur de cernes	2,18 A	1,46 B	1,40 C	1 % et 5 %
Densité des carottes complètes	555 A	533 B	529 C	1 % et 5 %
Densité des 20 dernières années	549 A	521 B	514 C	1 % et 5 %
Densité maximale	820 A	718 B	681 C	1 % 5 %
Densité minimale	541 A	485 B	477 C	1 % et 5 %
Pourcentage de longueur radiale ou le bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm3	62,6 A	34,5 B	29,8 C	1 % et 5 %
Différence entre la densité maximale et minimale	279 A	233 B	204 C	1 % 5 %

.../...

Selon ces résultats nous voyons que

1°) La station A située à l'altitude la plus basse est toujours différente des deux autres.

2°) Les stations B et C sont semblables au seuil de 1 % pour toutes les caractéristiques explicatives étudiées.

Elles peuvent être toujours considérées comme différentes au seuil de 5 % seulement pour ce qui est de la densité maximale et de l'hétérogénéité de leur bois, ce qui prouve le caractère particulièrement discriminant de ces deux critères.

3°) La croissance des arbres dans cette forêt est fonction de l'altitude : elle augmente quand cette dernière diminue.

Cette propriété se manifeste significativement quand on passe de 1000 m à 750 m d'amtitude, tandis que de 1000 m à 1250 m la réduction de largeur des cernes n'est pas statistiquement établie.

4°) L'homogénéité du bois de hêtre est directement liée aux variations de l'altitude ; de ce point de vue les 3 stations sont différentes au seuil de 5 %, mais en se référant au tableau 23 on voit que la station B est plus proche de C que de A.

D'après ces remarques, et d'après nos résultats du chapitre 5.1., nous classerons les stations étudiées pour les différentes qualités comme suit

1°) Les hêtres de la station A située dans la zone de 750 m d'altitude conviennent pour le soutênement, (à condition qu'il soit traité) et, les traverses, puisqu'on a vu qu'une bonne résistance mécanique est liée à une densité élevée. Ce sont également les plus intéressants pour l'industrie de la cellulose et comme bois de feu car le rendement en fibres et le pouvoir calorif

.../...

Selon ces résultats nous voyons que

1°) La station A située à l'altitude [illegible]

2°) Les stations B et C sont semblables [illegible]

Elles peuvent être toujours considérées [illegible]
[illegible] seulement pour ce qui est de la densité [illegible]
[illegible] fois, ce qui prouve le caractère particulier [illegible]

[illegible]

Cette propriété se manifeste significativement [illegible] 500 m à 750 m d'altitude, tandis que de 1000 m à 1500 m [illegible]

4°) L'homogénéité du bois de hêtre est [illegible] à des [illegible]
[illegible] de l'altitude ; de ce point de vue les [illegible] sont différentes
[illegible] de 5 %, mais en se référant au tableau 2) on voit que la station B
[illegible] proche de C que de A.

D'après ces remarques, et d'après nos [illegible] nous classerons les stations étudiées pour les

1°) Les hêtres de la station A située [illegible] 750 m d'altitude
[illegible] (à condition [illegible] traité) et, le
[illegible]
[illegible] élevée. Ce sont également les plus [illegible]

augmentent également avec la densité.

2°) Les hêtres de la station C située à 1250 m d'altitude sont aptes pour le déroulage et des utilisations nobles comme ébénisterie fine, sculpture etc... grâce à leur bonne homogénéité et parce que leur faible densité doit s'accompagner on l'a vu, d'un bois tendre et à rétractibilité peu élevée.

3°) Les hêtres de la station B située à 1000 m d'altitude sont d'une qualité intermédiaire se rapprochant de la station C.

.../...

CONCLUSION

Au moment de conclure, nous voudrions tout d'abord insister sur certains aspects peu satisfaisants du présent travail.

Ils tiennent surtout à l'échantillonage :

En raison du montant élevé des frais de transport depuis l'IRAN jusqu'à NANCY, nous avons dû nous contenter d'un billon de 50 cm par arbre pour les essais de caractère destructif. De plus, durant le long délai qui s'est écoulé entre l'abattage et l'arrivée au laboratoire, plusieurs de ces billons ont été atteints d'échauffure, ce qui a réduit encore le volume effectivement disponible pour ces essais.

Pour cette raison, nous avons été amené à confectionner le maximum d'éprouvettes dans les billons ou partie de billons saines, et, de ce fait, la périphérie des troncs s'est trouvée représentée, proportionnellement à leur surface, par un beaucoup plus grand nombre d'échantillons que la partie centrale ; des gradients très prononcés existant de la moelle vers l'écorce pour toutes les caractéristiques du bois : largeur des accroissemnts, densité, critères de résistance mécanique, rétractibilité, ceci explique que les répartitions des diverses variables que nous avons étudiées ne sont jamais normales , en sorte que les calculs de coefficients de corrélation, lorsqu'ils portent sur un nombre peu élevé de couples de mesures, sont, du point de vue mathématique, très critiquables.

L'insuffisance de l'échantillonnage a également eu comme conséquence, une grande irrégularité dans le nombre d'éprouvettes des diverses catégories façonnées dans chaque billon ; les résultats obtenus ne pouvaient pas de ce fait s'insérer dans le cadre d'un dispositif orthogonal qui, seul, eût permis de faire procéder, sur ordinateur, à des calculs statistiques plus élaborés, et en particulier, à des analyses de régression progressive ; de telles analyses auraient cependant apporté une amélioration considérable dans l'explication des divers critères de résistance

mécanique ou de rétractibilité, grâce à la prise en considération de plusieurs variables explicatives ; par suite, les prévisions sur les qualités intrinsèques du bois, faites à partir des seuls tests non destructifs auraient été, peut-etre, sensiblement améliorées.

Enfin, d'abondantes chutes de neige survenues au moment où nous nous apprêtions à visiter en détail les trois stations étudiées, nous ont empêché de procéder au travail prévu : examen in situ des arbres-échantillons, observation sur l'ampleur de leur houppier et sur l'étage (dominant, codominant, dominé) dans lequel il se trouve, détermination des facteurs de concurrence avec les tiges voisines, analyses du sol et de la végétation dans le cadre de la microstation. La connaissance de ces divers éléments nous auraient vraisemblablement permis de mieux expliquer les différences entre arbres et, peut-être, entre stations.

Cependant, malgré toutes ces imperfections, ce travail nous a permis de recueillir nombre d'informations utiles :

Au point de vue méthodologique, il a été l'occasion de la première application sur une grande échelle, de l'analyse densitométrique à une essence feuillue homogène. Certains des chercheurs de la station de Recherches sur la Qualité des Bois ont déjà étudié par cette méthode Fagus silvatica, mais seulement à titre d'exemple et jamais sur un nombre élévé d'individus. Diverses équipes australiennes ont de même beaucoup travaillé sur les eucalyptus, mais aucune publication n'a jusqu'ici été consacrée aux comptes-rendus de leurs recherches.

Les résultats que nous avons obtenus : corrélations significatives et différences significatives dans les comparaisons de moyennes montrent que les caractéristiques d'exploration adoptées : radiographie axiale, largeur de fente relativement élevée, étaient susceptibles de donner satisfaction au cas particulier en dépit de la présence d'éléments anatomiques de grande dimension comme les vaisseaux et de la présence de rayons ligneux à densité élevée dont on aurait pu craindre qu'ils faussent certains résultats ou masquent des différences entre échantillons.

De même, les essais en traction transversale aussi bien parallèlement que

perpendiculairement aux rayons ligneux semblent être des premiers qui aient été réalisés, en France tout au moins, sur un grand nombre d'échantillons. Cette étude a cependant permis d'aboutir à quelques corrélations intéressantes, et elle a surtout mis en évidence une résistance à la traction plus élévée dans le sens des rayons que perpendiculairement à eux.

En outre, certaines études de corrélation, comme celles qui ont été faites entre les composantes de la densité du bois et les divers critères de rétractibilité d'une part, ou la résistance au choc d'autre part, étaient les premières du genre et là encore des liaisons intéressantes ont pu être mises en évidence.

Enfin, la détermination du module d'élasticité à partir de courbes charge-déformation qui, à l'échelle internationale, semble perdre du terrain devant des méthodes non destructives, basées, par exemple, sur l'utilisation des ultra sons, a donné des résultats intéressants, notamment en ce qui concerne certaines liaisons avec des composantes de la densité.

Sur le plan pratique, nos recherches ont, une fois de plus, confirmé l'extrême variabilité des caractéristiques technologiques, non seulement d'un individu à l'autre à l'intérieur d'une même station, mais encore au sein d'un même individu. Le tableau 23 porté en annexe II donne une vue synthétique des diverses liaisons observées à ces deux niveaux. On peut remarquer tout d'abord au niveau individuel que pour un même couple de caractéristiques, on peut avoir, suivant les arbres, des corrélations très significatives ou au contraire, non significatives, les arbres n° 1 et 9 étant souvent ceux qui présentent les plus faibles liaisons.

Qui plus est, on peut, dans quelques cas, observer des corrélations de signes opposés, par exemple la liaison positive entre dureté et traction perpendiculaire aux rayons ligneux pour l'arbre n° 19, devient négative pour l'arbre n° 1 de même il existe une liaison directe entre la densité minimale où le pourcentage d bois a une densité égale ou supérieure à 600 g/dm^3 d'une part, et la traction

.../...

parallèle aux rayons d'autre part, pour les arbres n° 1 et 19, qui se transforme en liaison inverse pour l'arbre n° 16. Nous pouvons encore citer la corrélation entre la densité minimale et résistance au choc qui est positive pour le n° 16 et négative pour le n° 9.

Ces anomalies paraissent difficiles à expliquer ; elles peuvent, dans une certaine mesure, être attribuées à l'échantillonnage relativement plus riche en éprouvettes périphériques pour certains arbres, et en éprouvettes internes pour d'autres, et aux gradients de variation auxquels il a été fait allusion plus haut.

Nous pouvons également observer sur le tableau 23 que les liaisons entre caractéristiques physiques et mécaniques sont en général fort élevées au niveau individuel mais beaucoup plus faibles au niveau de la station. Le phénomène est particulièrement net pour la liaison entre les retraits transversaux, surtout le retrait radial, et la largeur des cernes. Le cas inverse se produit également par exemple pour certaines liaisons concernant la résistance au choc d'une part, et des critères de rétractibilité d'autre part ; ces liaisons sont significatives au niveau de la station, sans l'être au niveau individuel pour l'un quelconque des cinq arbres étudiés.

Sur le plan sylvicole, notre travail a permis de recueillir un certain nombre d'indications utiles :

D'une façon générale, les traitements appliqués à la forêt et notamment l'intensité et la périodicité des coupes d'éclaircies permettent aux forestiers de modifier, dans une certaine mesure, la vitesse de croissance des arbres ; à ce titre les différentes liaisons entre la largeur des cernes et les autres caractéristiques étudiées, doivent retenir l'attention : on a vu que toutes ces liaisons sont positives, c'est-à-dire que la densité, les composants de la densité et les divers critères de résistances mécaniques ou de rétractibilité augmentent avec la largeur des cernes ; or, une forte rétractibilité est toujours un défaut et des caractéristiques mécaniques élevées le sont pour certains emplois très rémunérateurs, comme le déroulage par exemple ou l'ébénisterie fine ; selon les débouchés qui

seront assignés sur le plan économique aux forêts de l'ELBOURZ, il conviendra d'opter pour un type de sylviculture ou pour un autre.

Les différences très nettes observées entre les trois stations étudiées doivent également retenir l'attention. A en juger par les échantillons dont nous avons pu disposer, il semble que les bois de l'une ou de l'autre de ces stations sont à préférer suivant le genre d'utilisation que l'on a en vue. Les bois de la station à plus faible altitude se signalent surtout par de bonnes caractéristiques mécaniques on peut envisager qu'ils soient traités à une révolution de 100 ans donnant des arbres de 125 cm de circonférence ; ils fourniraient alors du bois de parquet, de la menuiserie courante et, après traitement approprié, des traverses de chemin de fer ; pour les éclaircies faites dans les hauts perchis, s'ajouterait un bon débouché, le bois de souténement sous réserve également d'un traitement antiseptique convenable ; les bas perchis, jusqu'à l'âge de 50 ans environ, peuvent être utilisés comme bois à fibres.

Les arbres des stations plus élevées sembleraient avantageusement devoir être traités à plus longue révolution, par exemple 165 ans, donnant alors des fûts de 150 cm de circonférence environ dont le bois à grain doux et de haute qualité conviendrait pour le déroulage ou l'ébénisterie. La densité des peuplements devrait être maintenue assez élevée, de façon à maintenir les largeurs des cernes dans une fourchette raisonable.

On doit observer à ce sujet que les effets de l'altitude sur la qualité du bois de Fagus orientalis semblent opposés à ceux qui ont été observés dans les hêtraies françaises sur Fagus silvatica (36).

Sur un plan beaucoup plus général, notre travail a confirmé l'intérêt que peuvent présenter des tests non destructifs pour l'appréciation de la qualité du bois

Indépendamment du temps consacré à l'abattage et au transport des arbres, les divers essais mécaniques auxquels nous avons procédé sur éprouvettes normalisées ont exigé, pour 25 billons seulement, un an complet de travail.

Pour les études faites sur carottes de sondage au contraire, l'obtention, à l'aide de tarière de Pressler de 5 mm, d'éprouvettes cylindriques parfaitement calibrées est extrêmement rapide ; leur radiographie après calage approprié et le développement des films peuvent également se faire dans un délai très bref et enfin les enregistrements au microdensitomères n'exigent également que très peu de temps, tout en étant extrêmement précis ; quant au dépouillement des courbes, il n'a, en moyenne, nécessité que 20 minutes par arbre pour recueillir les 5 variables que nous désirions analyser, et seuls des calculs très élémentaires ont été nécessaires avant de passer à l'interprétation statistique.

Au total, l'obtention de caractéristiques densitométriques pour les 90 échantillons en provenance des trois stations étudiées, n'a nécessité qu'une semaine de travail.

Certes, il est extrêmement intéressant de connaître directement la résistance mécanique ou la rétractibilité du bois, mais à défaut, les fortes liaisons mises en évidence entre celles-ci et les composantes de la densité permettent d'en obtenir une estimation avec un seuil de probabilité que l'on peut connaître à partir des droits de régression :

Par exemple, on obtient la charge maximale en flexion statique "FS" à partir du pourcentage "P" de bois ayant une densité égale ou supérieure à 600 g/ dm^3 par la formule : "FS = 26,28+ 0,314P ; de même une estimation en kg/ cm^2 du module d'élasticité "E" peut être faite à partir de la densité minimale "dm", à savoir : "E" = 34113+183,4 dm

Enfin, le pourcentage de bois de densité égale ou supérieure à 600 g/ dm^3 permet également d'obtenir une valeur approchée du retrait radial de l'état saturé à l'état sec à l'air "RR" et du retrait tangentiel entre ces deux mêmes états "RT" par les formules

"RR"= 2,55+0,02P

"RT"= 7,49+0,03P

.../...

Les composants de la densité ne sont d'ailleurs pas les seuls caractéristiques que l'on peut obtenir sur les carottes de sondage.

D'ores et déjà, dans le laboratoire de recherches de la Station de recherche sur la Qualité des Bois sont appréciées, à partir de tels échantillons, des caractéristiques telles que la dureté des arbres sur pied, le rendement en fibres, la longueur moyenne des fibres POLGE (1969) (34), ou même, grâce à des développements plus récents, les divers retraits, aini que cela a été fait pour une étude consacrée aux essences forestières tunisiennes (35).

On peut également envisager des déterminations du module d'élasticité à partir les carottes de sondage par la méthode vibratoire.

Nous espérons pouvoir développer en IRAN de telles méthodes et aboutir ainsi plus rapidement à une meilleurs connaissance de la qualité des bois de ce pays.

A N N E X E I

RELEVE PRIS A LA FIN DU MOIS DE MARS 1968 PAR V. TREGUBOV DANS LA FORET AU NORD D'ASSALEN DANS LA PARCELLE 14.

Association : Arctostaphylo-Fagetum hyrcanum TREGUBOV. (1967)

Station : altitude : 1250m.
exposition : nord
pente : 10°
sol : légérement podsolique PH 4.5 sur grès

Couvert : I strate arborescente 90%
II strate buissonnante 80%
III strate herbacée 80%
IV strate muscinale 20%

I. Fagus orientalis var. macrophylla HOHEN.	5.5
II. Fagus orientalis var. macrophylla HOHEN.	2.3
Vaccinium arctostaphylos L.	4.4
Ilex hyrcana POJARK.	2.3
Rubus raddeanus FOCKE	x
Hypericum androsaemum L.	1.2
Carpinus betulus (non L.) auct. cauc.	(x)
III. Espèces caractéristiques de l'Association :	
Festuca mondana MARSCHAL	4.4
Dentaria quinquefolia M. B.	1.1
Galium rotundifolium L.	x'
Blechnum spicant (L) WITHER	x
Scilla amaena M. B.	x
Erythronium albidum NUTT.	x
Luzula forsteri (Sm) DC	1.1

.../...

Espèces des Fagetalia :	1.1
Asperula odorata L.	1.1
Dentaria bulbifera (L)	x
Sanicula europaea L.	1.1
Lamium galeobdolon CRANTZ.	1.1
Carex digitata L.	1.2
Viola odorata L.	x
Neottia nidus avis (L) RICH.	x
Salvia glutinosa L	x
Mercurialis perennis L.	x
Polygonatum polyanthemum (M.B.) LINK.	x
Carex silvatica HUDS.	x
Euphorbia amygdaloides L.	x
Espèces compagnes :	
Cyclamen elegans Boiss. et Buhse	x
Corydalis marschalliana (Pall.) Pers.	x
Mateucia structhiopteris L. TOD.	x
Dryopteris paleacea (Sw.) HAND. MAZZ.	1.2
Calamintha nepeta (L.) Savi	x
Potentilla reptans L	x
Solanum kieseritzkii C. A. M.	(x)
Athyrium filix femina (L) ROTCH.	(x)
IV. Pleuropus (Palamocladium) euchloron (BRUCH) BROTH.	2.4
Brachythecium salebrosum (HOFFM. ap WEB. et MOHR)	1.5
Plagiochila aspenioides (L) DUM.	x
Mnium affine BLANDOW.	x
Mnium cuspidatum (L. ap. HEDW) P. BEAUV.	x
Homalothecium philippeanum (L. ap HEDW) HOOK et TAXL.	x
Brachuthecium rutabulum L. ap. HEDW.	1.2
Fissidens taxifolius (L) HEDWIG.	x

TABLEAU 1

RESULTATS DES ETUDES ANATOMIQUES EFFECTUES SUR LES CERNES 1 ET 2 .

Parties mesurées dans le cerne 1	Nombre de vaisseaux	% de surface de vaisseaux	Parties mesurée dans le cerne 2	Nombre de vaisseaux	% de surface de vaisseaux	
1	[illegible]	38,2	1	50	21,1	[illegible]
2	50	55,6	2	62	23,[illegible]	[illegible]
3	50	33,0	3	64	25,7	[illegible]
4	53	30,6	4	51	22,5	↑
5	54	21,0	5	53	24,9	
6	50	19,8	6	60	22,2	
7	53	15,7	7	52	20,5	
8	6[illegible]	16,6	8	64	27,2	
9	54	12,8	9	55	32,5	[illegible]
10	53	12,7	10	66	3[illegible],6	[illegible]
11	64	14,[illegible]				

Largeur du 1er cerne : 2,5 mm
Largeur du 2e cerne : 3,3 mm

A N N E X E II

TABLEAU N° 5 - MATRICE DES COEFFICIEN

Indices	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1		+++ 0,68	-0,02	+++ 0,47	+++ 0,60	+++ 0,47	+++ 0,55	+++ -0,57	0,11	-0,16	-0,2
X2			-0,14	0,12	+++ 0,69	+++ 0,48	+++ 0,69	+++ -0,81	-0,03	-0,27	-0,1
X3				+++ 0,54	0,07	+++ -0,42	0,06	0,17	-0,28	-0,01	0,3
X4					+++ 0,91	0,22	+++ 0,49	+ -0,33	-0,30	-0,16	0,1
X5						+++ 0,57	+++ 0,76	+++ -0,65	-0,07	+ -0,36	-0,0
X6							+++ 0,47	++ -0,37	0,28	-0,20	0,2
X7								0,01	-0,13	+++ -0,46	-0,0
X8									-0,01	0,27	0,2
X9										-	-
X10											-
X11											
X12											
X13											
X14											
X15											
X16											
X17											
X18											
X19											
X20											
X21											
X22											
X23											

+++ = significatif au risque de 1 %

++ = " ", " " 2 %

+ = " " " " 5 %

CORRELATION POUR L'ARBRE N° 1

	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
	+++	+++	+++	+++	+++	++	+		+++	+++	+++
6	0,61	0,49	0,41	0,60	0,61	0,54	-0,48	-	0,58	0,54	0,73
	+++	+++	+++	+++	+++	+	+		+++	+++	+++
9	0,75	0,57	0,56	0,61	0,50	0,47	-0,50	-	0,60	0,80	0,89
9	0,01	0,14	0,21	0,23	0,18	0,15	0,45	-	0,02	0,07	0,12
				+++	+++						
3	0,30	-0,08	0,25	0,46	0,48	0,43	-0,08	-	0,16	0,27	0,39
	+++	+++		+++	+++						+++
9	0,62	0,67	0,25	0,53	0,71	0,41	-0,52	-	0,39	0,36	0,64
	+++	++							+++	+++	+++
0	0,47	0,39	0,20	0,27	0,27	-0,09	-0,45	-	0,56	0,54	0,71
	+++	+++	+++	+++	+++	++			+++	+++	+++
3	0,72	0,61	0,52	0,56	0,47	0,52	0,14	-	0,61	0,78	0,84
	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++		+++	+++	+++
2	-0,69	-0,57	-0,50	-0,60	-0,44	-0,45	0,66	-	-0,54	-0,80	-0,85
											+
	-	-	-	-	-	-0,03	-0,26	-	0,05	0,05	0,44
	-	-	-	-	-	0,00	0,19	-	0,10	0,16	-0,35
	-	-	-	-	-	0,03	0,35	-	-0,04	-0,02	-0,04
						+			++	+++	+++
	-	-	-	-	-	0,44	-0,46	-	0,47	0,57	0,74
						+			+++	+++	+++
			-	-	-	0,44	-0,42	-	0,52	0,63	0,77
						+			+++	+++	+++
			-	-	-	0,44	-0,20	-	0,50	0,52	0,64
									+	+++	+++
				-	-	0,14	-0,08	-	0,46	0,60	0,68
									++	+++	+++
					-	0,28	-0,09	-	0,47	0,51	0,63
											+
						0,35	-0,01	-	0,36	0,16	0,41
										+++	
							-	-	0,46	0,69	0,52
								-	0,40	0,07	0,46
									-	-	-
										+++	+++
										0,58	0,73
											+++
											0,89

TABLEAU N° 6 - MATRICE DES COEFFICIEN

Indice	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1		+++ 0,52	0,26	0,17	0,19	0,02	0,03	+++ -0,54	-0,11	-0,15	-0,1
X2			+++ 0,48	+++ 0,77	0,15	0,16	+++ 0,57	+++ -0,73	-0,20	-0,29	-0,0
X3				+++ 0,65	+++ 0,47	0,07	0,22	+ -0,35	0,04	-0,07	-0,2
X4					+++ 0,97	0,21	+++ 0,65	+++ -0,62	-0,20	-0,22	-0,0
X5						0,27	+++ 0,71	+++ -0,65	-0,27	-0,26	-0,0
X6							+ 0,31	-0,13	-0,08	-0,07	-0,0
X7								+++ -0,38	-0,13	-0,06	0,1
X8									0,14	0,18	0,1
X9										-	
X10											
X11											
X12											
X13											
X14											
X15											
X16											
X17											
X18											
X19											
X20											
X21											
X22											
X23											

+++ = significatif au risque de 1 %

++ = " " " de 2 %

+ = " " " de 5 %

E CORRELATION POUR L'ARBRE N° 9

2	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
++	+++						+			+++	+++
58	0,65	0,24	0,14	0,15	0,02	0,34	0,44	–	0,26	0,66	0,58
+	+++	+++	+++	+++						+++	+++
41	0,58	0,52	0,47	0,55	0,22	0,40	0,36	–	0,36	0,70	0,79
	+++	+++			+				+++	+++	+++
35	0,47	0,51	0,17	0,31	0,35	0,40	0,28	–	0,62	0,33	0,51
	+++	+++		+++	+++		+			+++	+++
33	0,46	0,56	0,17	0,41	0,42	0,13	0,52	–	0,42	0,56	0,63
	+++	+++			+					+++	+++
32	0,42	0,45	0,16	0,29	0,34	0,01	0,13	–	0,28	0,65	0,60
07	-0,03	0,13	-0,04	0,03	0,18	0,08	0,03	–	-0,13	-0,05	-0,20
				+	+++						+
06	0,12	0,16	0,07	0,31	0,57	0,33	0,02	–	0,08	0,21	0,38
+	+++	+++		+						+++	+++
49	-0,63	-0,45	-0,26	-0,30	-0,08	-0,24	-0,27	–	-0,35	-0,73	-0,79
	–	–	–	–	–	0,25	-0,15	–	-0,09	-0,14	-0,26
	–	–		–	–	0,14	-0,19	–	0,05	-0,02	-0,21
	–		–	–	–	-0,08	-0,11	–	0,03	0,07	0,04
	–	–	–	–	–	0,19	0,24	–	0,37	+++ 0,54	+++ 0,56
		–	–	–	–	0,20	0,32	–	+ 0,38	+++ 0,65	+++ 0,67
			–	–	–	0,07	0,15	–	0,27	0,28	0,25
				–	–	0,30	0,17	–	+++ 0,52	0,18	0,37
					–	0,02	0,14	–	+++ 0,49	0,16	0,41
						0,08	-0,05	–	-0,08	-0,05	0,05
							–	–	0,35	0,13	0,34
								–	0,28	0,27	0,32
									+++ 0,80	+ -0,74	-0,31
										0,18	+++ 0,56
											+++ 0,79

TABLEAU N° 7 - MATRICE DES COEFFICIENTS

Indice	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1		+++ 0,58	-0,20	++ 0,37	++ 0,49	0,14	+++ 0,37	+++ -0,50	0,10	-0,01	-0,12
X2			0,01	+++ 0,55	+++ 0,74	0,17	+++ 0,65	+++ -0,68	0,16	0,11	-0,02
X3				+++ 0,50	-0,03	+++ -0,58	0,14	-0,07	-0,10	-0,01	0,03
X4					+++ 0,80	-0,10	+++ 0,69	+++ -0,60	0,23	0,15	-0,08
X5						0,29	+++ 0,75	+++ -0,65	0,36	0,24	-0,06
X6							0,05	-0,05	0,23	0,23	0,03
X7								+++ -0,51	0,14	0,03	0,0
X8									0,05	0,03	-0,0
X9										-	-
X10											-
X11											
X12											
X13											
X14											
X15											
X16											
X17											
X18											
X19											
X20											
X21											
X22											
X23											

+++ = significatif au risque de 1 %

++ = " " " de 2 %

+ = " " " de 5 %

ORRELATION POUR L'ARBRE N° 16

	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
	+++		+++	+++							+
4	0,40	0,16	0,58	0,61	0,28	-0,10	0,20	0,29	0,34	0,18	0,39
	++	+++	+++	+++	+++		+++	+++	+++	++	+++
6	0,32	0,36	0,48	0,66	0,48	-0,11	0,48	0,54	0,59	0,46	0,67
9	0,31	0,32	-0,27	0,11	0,18	0,03	-0,21	-	-0,43	0,10	-0,14
	+				++						
5	0,38	0,36	-0,02	0,22	0,46	-0,02	-0,08	-	0,27	0,12	0,05
			++						+		
2	0,27	0,26	0,51	0,07	0,38	-0,47	-0,01	-	0,58	0,24	0,34
4	-0,07	-0,28	0,07	-0,01	-0,08	0,04	0,01	-	0,37	0,45	0,32
	+++			+++	+++		+++				
7	0,42	0,28	0,18	0,35	0,45	0,01	-0,51	-0,07	0,39	0,19	0,24
	+++		+++	+++	+			++	+++	+++	+++
4	-0,53	-0,24	-0,46	-0,52	-0,31	0,12	-0,30	-0,52	-0,52	-0,61	-0,71
	-	-	-	-	-	0,15	0,02	-0,36	-0,04	-0,14	-0,12
	-	-	-	-	-	0,14	-0,01	-0,25	-0,17	-0,20	-0,05
	-	-	-	-	-	-0,09	-0,02	0,14	0,33	0,01	-0,11
							+			+	++
	-	-	-	-	-	0,09	0,42	0,36	0,29	0,39	0,43
								+	+++	++	+++
		-	-	-	-	-0,08	0,30	0,46	0,45	0,43	0,46
									++		
		-	-	-	-	-0,25	0,30	0,25	0,40	0,22	0,21
						+		+++	++	+++	+++
				-	-	-0,43	0,25	0,66	0,44	0,52	0,63
								+	++	++	+++
					-	-0,17	0,25	0,47	0,44	0,40	0,54
						0,31	0,13	-0,39	0,26	0,02	0,14
										+	
							-	-0,60	-0,02	-0,58	-0,48
								0,34	0,19	0,21	0,36
										+	+
									0,21	0,52	0,53
											+++
										0,16	0,53
											+++
											0,82

TABLEAU N° 8 - MATRICE DES COEFFICIE

Indices	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
X1		+++ 0,80	+ 0,31	+++ 0,71	+++ 0,75	+++ 0,45	+++ 0,71	+++ -0,66	-0,11	-0,25	-0,2
X2			+++ 0,48	+++ 0,84	+++ 0,87	+++ 0,47	+++ 0,72	+++ -0,77	-0,05	-0,32	+++ -0,3
X3				+++ 0,64	+ 0,37	0,10	+ 0,31	++ -0,36	-0,16	-0,18	0,0
X4					+++ 0,94	+++ 0,55	+++ 0,79	+++ -0,68	-0,11	-0,16	-0,1
X5						+++ 0,94	+++ 0,91	+++ -0,72	-0,26	++ -0,42	-0,3
X6							+++ 0,49	+ -0,34	-0,20	-0,25	-0,1
X7								+++ -0,65	-0,23	++ -0,42	+++ -0,
X8									0,16	0,25	0,2
X9										-	-
X10											-
X11											
X12											
X13											
X14											
X15											
X16											
X17											
X18											
X19											
X20											
X21											
X22											
X23											

+++ : significatif au risque de 1 %

++ " " " de 2 %

\+ " " " de 5 %

CORRELATION POUR L'ARBRE N° 19

2	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
+	+++	+++	+++	+++	+++	++		+++	+++	+++	+++
62	0,70	0,43	0,80	0,84	0,69	0,47	0,32	0,64	0,78	0,63	0,82
+	+++	+++	+++	+++	+++	+++		+++	+++	+++	+++
59	0,72	0,53	0,72	0,75	0,64	0,59	0,33	0,58	0,72	0,79	0,94
+	+++	+++	+++	+++		+++				+	
44	0,46	0,24	0,48	0,42	0,17	0,54	-0,15	-	0,08	0,48	0,40
+	+++	+++	+++	+++	+++	+++			+++	+++	+++
72	0,77	0,46	0,67	0,68	0,54	0,57	0,29	-	0,56	0,78	0,79
+	+++	+++	++	+++	+++	+++			+++	+++	+++
75	0,82	0,49	0,35	0,74	0,66	0,53	0,08	-	0,63	0,76	0,81
+	+++		+++	+++	++						+
44	0,49	0,30	0,46	0,46	0,35	0,18	0,44	-	0,28	0,38	0,44
+	+++	+++	+++	+++	+++	+		+++	+++	+++	+++
64	0,76	0,48	0,58	0,64	0,59	0,40	0,22	0,66	0,57	0,72	0,75
+	+++	+	+++	+++	+++	+++			+++	+++	+++
50	-0,54	-0,29	-0,56	0,56	-0,40	-0,54	-0,38	-0,44	-0,65	-0,63	-0,86
	-		-	-	-	0,12	-0,05	0,23	0,05	0,01	0,01
										+++	+++
	-	-	-	-	-	-0,03	-0,08	-0,16	-0,27	-0,53	-0,45
										+++	+++
	-	-	-	-	-	-0,19	-0,09	-0,35	-0,30	-0,58	-0,50
						+++			+++	+++	+++
	-	-	-	-	-	0,56	0,25	0,10	0,46	0,61	0,55
						+		+	+++	+++	+++
	-	-	-	-	-	0,38	0,43	0,49	0,55	0,77	0,79
								+	+++	+++	+++
		-	-	-	-	0,09	0,25	0,54	0,44	0,62	0,73
						+++	++	+	+++	+++	+++
				-	-	0,66	0,51	0,54	0,71	0,64	0,73
						+++	+	+++	+++	+++	+++
					-	0,54	0,43	0,77	0,70	0,71	0,82
									+++	+++	+++
						0,20	-0,10	0,44	0,45	0,56	0,59
									+	+	+
							-	0,19	0,45	0,47	0,52
								0,25	0,17	0,40	0,49
									++		+++
									0,61	0,42	0,80
										+++	+++
										0,45	0,74
											+++
											0,82

TABLEAU N° 9 - MATRICE DES COEFFICIENTS

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++			
		0,72	0,51	0,71	0,61	0,42	0,43	-0,44	0,18	-0,10	-0,1
		+++	+++	+++	+++	+	+++	+++			
			0,49	0,79	0,72	0,38	0,46	-0,61	0,14	-0,12	-0,0
				+++			+				
				0,69	0,32	0,12	0,35	-0,16	-0,15	-0,10	0,0
					+++	+++	+++	++			
					0,92	0,49	0,68	-0,41	-0,13	0,05	-0,0
						+++	+++	++			
						0,63	0,78	-0,40	-0,09	0,01	-0,0
							0,18	-0,19	-0,24	-0,14	-0,2
								-0,22	-0,07	-0,12	-0,5
									-0,18	-0,20	0,1
										-	-
											-

+++ = significatif au risque de 1 %

++ = " " " de 2 %

+ = " " " de 5 %

CORRELATION POUR L'ARBRE N° 20

	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
	+++	+++	+++	+++	+++		+		+++	+++	+++
36	0,59	0,55	0,73	0,81	0,78	0,11	0,48	–	0,51	0,73	0,78
	+++	+++	+++	+++	+++				+++	+++	+++
43	0,74	0,51	0,75	0,81	0,73	0,01	0,38	–	0,67	0,69	0,83
			+++	+++	+++				+++		
8	0,29	0,25	0,40	0,47	0,55	0,21	0,22	–	0,63	0,[illegible]4	0,38
	+++	+++	+++	+++	+++				+++	+++	+++
4	0,63	0,54	0,68	0,77	0,78	0,33	0,33	–	0,77	0,56	0,75
			+++	+++	+++				+++	+++	+++
4	0,63	0,56	0,67	0,73	0,69	0,40	0,34	–	0,73	0,64	0,66
	+		+++	+++	+	+++			+++	+++	+++
9	0,55	0,30	0,43	0,43	0,35	0,44	0,02	–	0,59	0,57	0,56
			+		+++				+++		
59	0,53	0,43	0,33	0,50	0,48	0,21	0,31	–	0,62	0,22	0,37
	+++	+	+++	+++	++					+++	+++
3	–0,54	0,30	–0,54	–0,54	–0,37	0,14	–0,41	–	–0,36	–0,48	0,58
	–	–	–	–	–	–0,13	–0,25	–	–0,07	0,31	0,22
	–	–	–	–	–	0,11	–0,04	–	0,01	–0,15	–0,06
	–	–	–	–	–	–0,19	0,14	–	0,05	–0,37	–0,17
									+	+++	+++
	–	–	–	–	–	–0,17	0,10	–	0,39	0,49	0,56
									+++	+++	+++
		–	–	–	–	0,09	0,25	–	0,48	0,76	0,81
										+++	+++
			–	–	–	0,33	0,23	–	0,31	0,67	0,68
									++	+++	+++
				–	–	0,03	0,52	–	0,42	0,70	0,79
									+++	+++	+++
					–	0,09	0,58	–	0,53	0,74	0,84
							+++		+++	+++	+++
						0,27	0,58	–	0,62	0,64	0,71
							–	–	0,46	0,02	0,19
								–	0,28	0,21	0,32
									–	–	–
											+++
										0,27	0,57
											++
											0,92

TABLEAU N° 21 - MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION POUR L'ENSEMBLE DE 25 ARBRES.

variables	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
X_1	1	+ 0,39	0	0,35	+ 0,43	0,34	+ 0,39	+ -0,43	+ -0,41	-0,36	-0,2
X_2		1	+++ 0,60	+++ 0,79	+++ 0,74	+++ 0,61	+++ 0,77	+++ -0,89	-0,29	0	0,2
X_3			1	+++ 0,63	++ 0,47	0,17	++ 0,48	+++ -0,56	-0,33	0,13	+ 0,4
X_4				1	+++ 0,98	+++ 0,72	+++ 0,94	+++ -0,90	+ -0,44	-0,37	-0,0
X_5					1	+++ 0,79	+++ 0,95	+++ -0,86	+++ -0,56	++ -0,48	-0,
X_6						1	+++ 0,80	+++ -0,64	+++ -0,50	++ -0,48	-0,
X_7							1	+++ -0,85	++ + -0,56	+ -0,41	-0,
X_8								1	++ 0,48	0,24	-0,
X_9									1	+++ 0,65	0,
X_{10}										1	++ 0,7
X_{11}											1
X_{12}											
X_{13}											
X_{14}											
X_{15}											
X_{16}											
X_{17}											
X_{18}											
X_{19}											
X_{20}											
[illegible]											

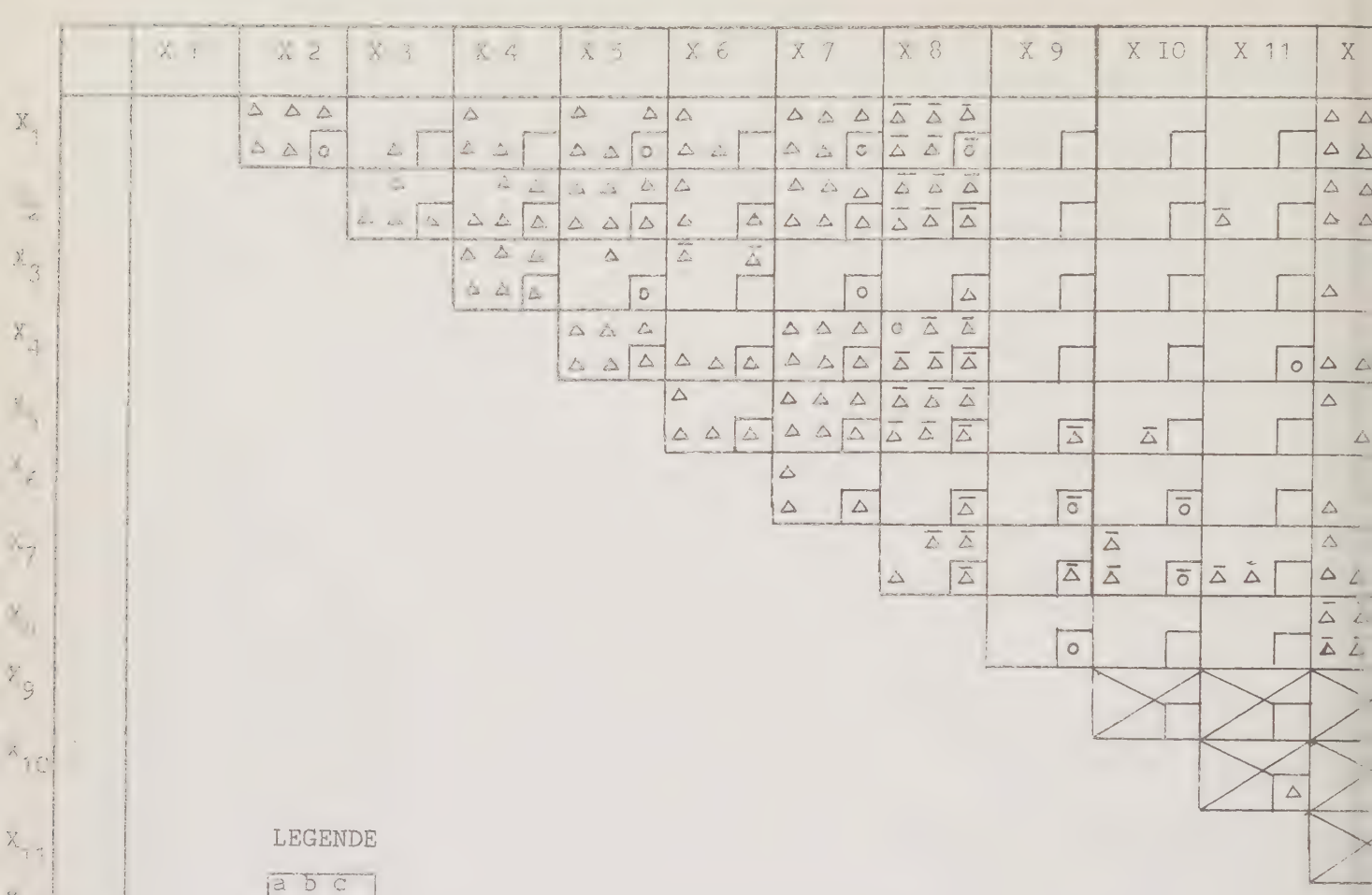
+++ : significatif au risque de 1 %

++ : " " " de 2 %

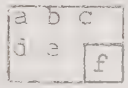
+ : " " " de 5 %

X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	âge
0,02	0,05	0,19	0,35	+ 0,39	0,17	+ 0,46	0,33	0,55	+++ -0,70
+ 0,41	+++ 0,53	0,33	+++ 0,73	+++ 0,79	0,25	+++ 0,68	+++ 0,78	+++ 0,73	+++ -0,71
+ 0,41	++ 0,48	0,21	+++ 0,52	+++ 0,50	0,07	0,27	+++ 0,63	++ 0,68	+++ -0,52
0,38	+ 0,41	0,21	+++ 0,53	+++ 0,59	0,21	0,30	+++ 0,54	++ 0,70	+++ -0,70
0,32	0,35	0,19	+ 0,47	+++ 0,55	0,23	0,27	+ 0,45	+ 0,61	+++ -0,71
0,20	0,24	0,15	0,34	++ 0,48	0,32	0,32	0,34	0,15	+++ -0,50
0,34	+ 0,41	0,26	+++ 0,54	+++ 0,65	0,30	0,32	+ 0,46	0,57	+++ -0,70
0,34	+ -0,43	-0,28	+++ -0,53	+++ -0,57	-0,21	+++ -0,50	+++ -0,56	-0,68	+++ 0,76
0,35	-0,33	-0,08	-0,06	-0,04	0,02	-0,07	-0,14	-0,08	++ 0,48
0,30	-0,25	-0,05	0,11	0,14	0,09	0,10	0,25	0,34	0,23
0,06	0	0	0,21	0,21	0,05	0,18	+ 0,45	0,35	-0,04
1	+++ 0,91	-0,03	+++ 0,59	0,31	+++ 0,50	0,25	0,28	0,12	-0,28
	1	0,37	+++ 0,61	++ 0,47	-0,20	+ 0,44	++ 0,47	0,11	-0,33
		1	0,08	0,37	+++ 0,64	+ 0,46	+ 0,44	0	-0,16
			1	+++ 0,88	-0,10	+++ 0,61	+++ 0,73	0,56	+++ -0,64
				1	0,37	+++ 0,71	+++ 0,85	+ 0,64	+++ -0,61
					1	0,35	+ 0,43	0,13	-0,15
						1	+++ 0,73	0,45	+++ -0,54
							1	0,48	+++ -0,55
								1	+++ -0,59
									1

PRESENTATION DES CORRELATIONS SIGNIFICATIVES AUX SEUILS DE 1 % et 5 % entre L



LEGENDE



a b c d et e= Corrélations à l'intérieur des arbres 1, 9, 16, 19 et 20
f = Corrélation entre arbres

△ Positivement significative au seuil de 1 %

$\overline{\triangle}$ Négativement significative au seuil de 1 %

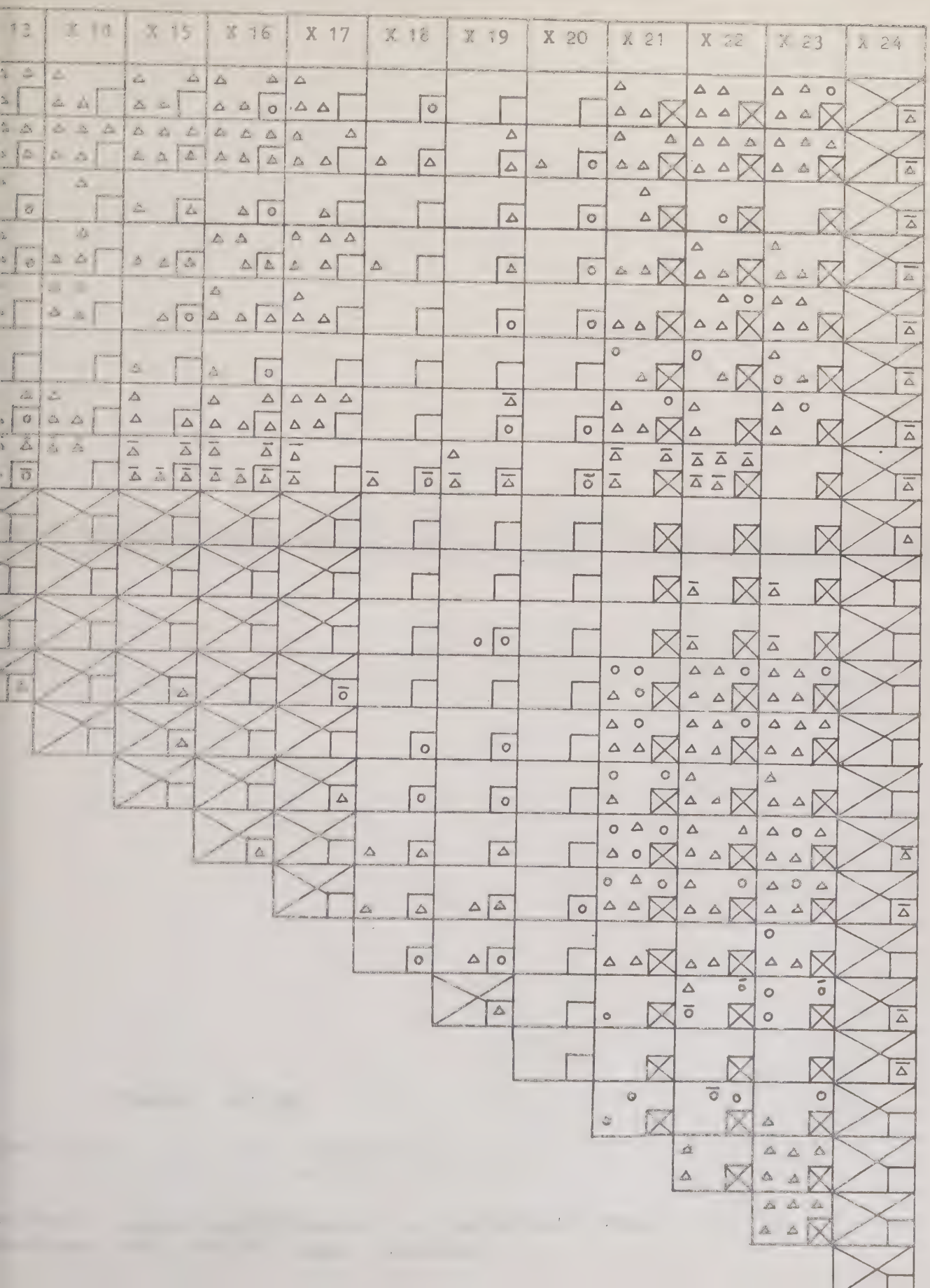
o Positivement significative au seuil de 5 %

$\overline{o}$ Négativement significative au seuil de 5 %

non calculée

ERSES CARACTERISTIQUES A L'INTERIEUR DES ARBRES ET ENTRE LES ARBRES.

TABLEAU N° 23



A N N E X E III

FIGURE 13

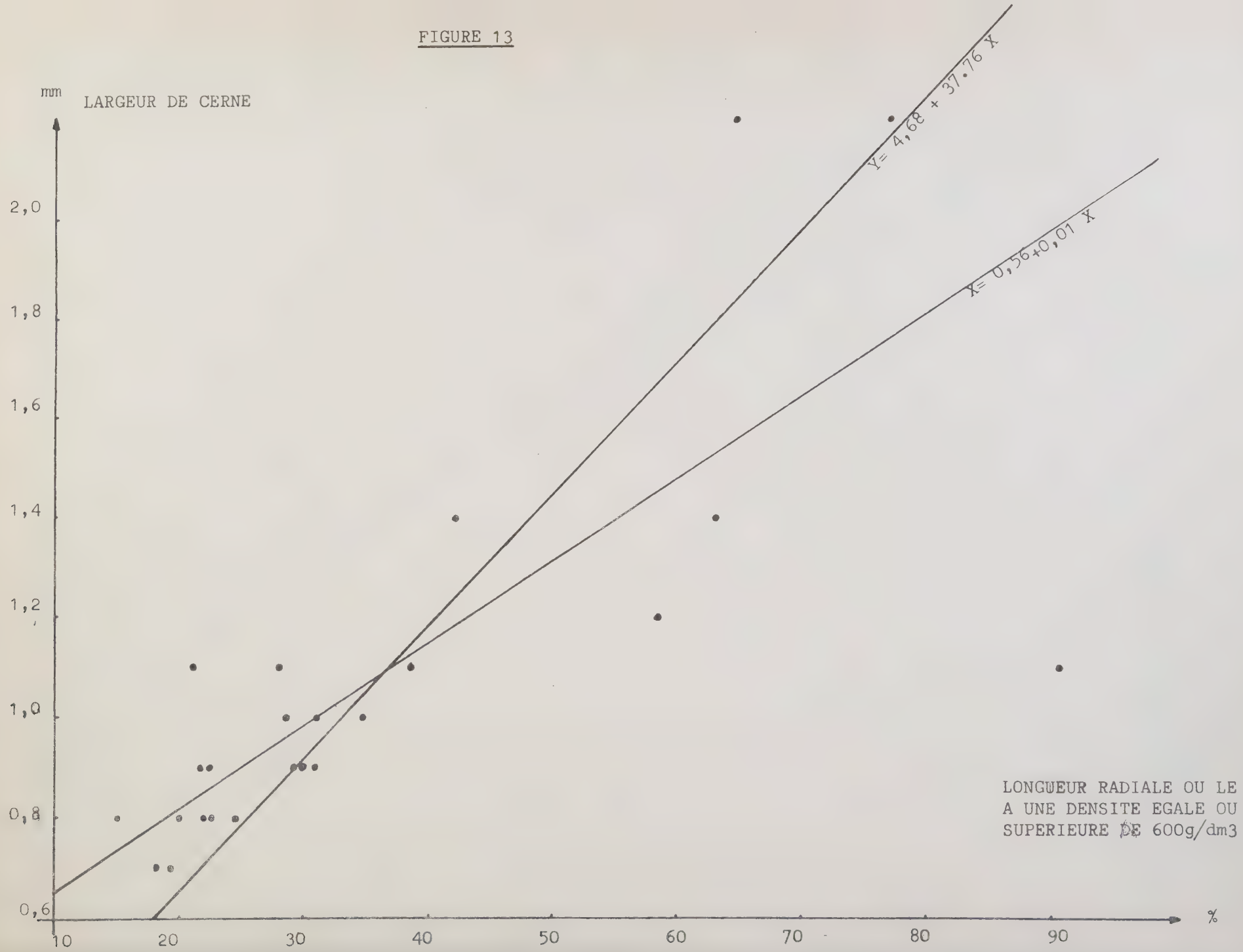
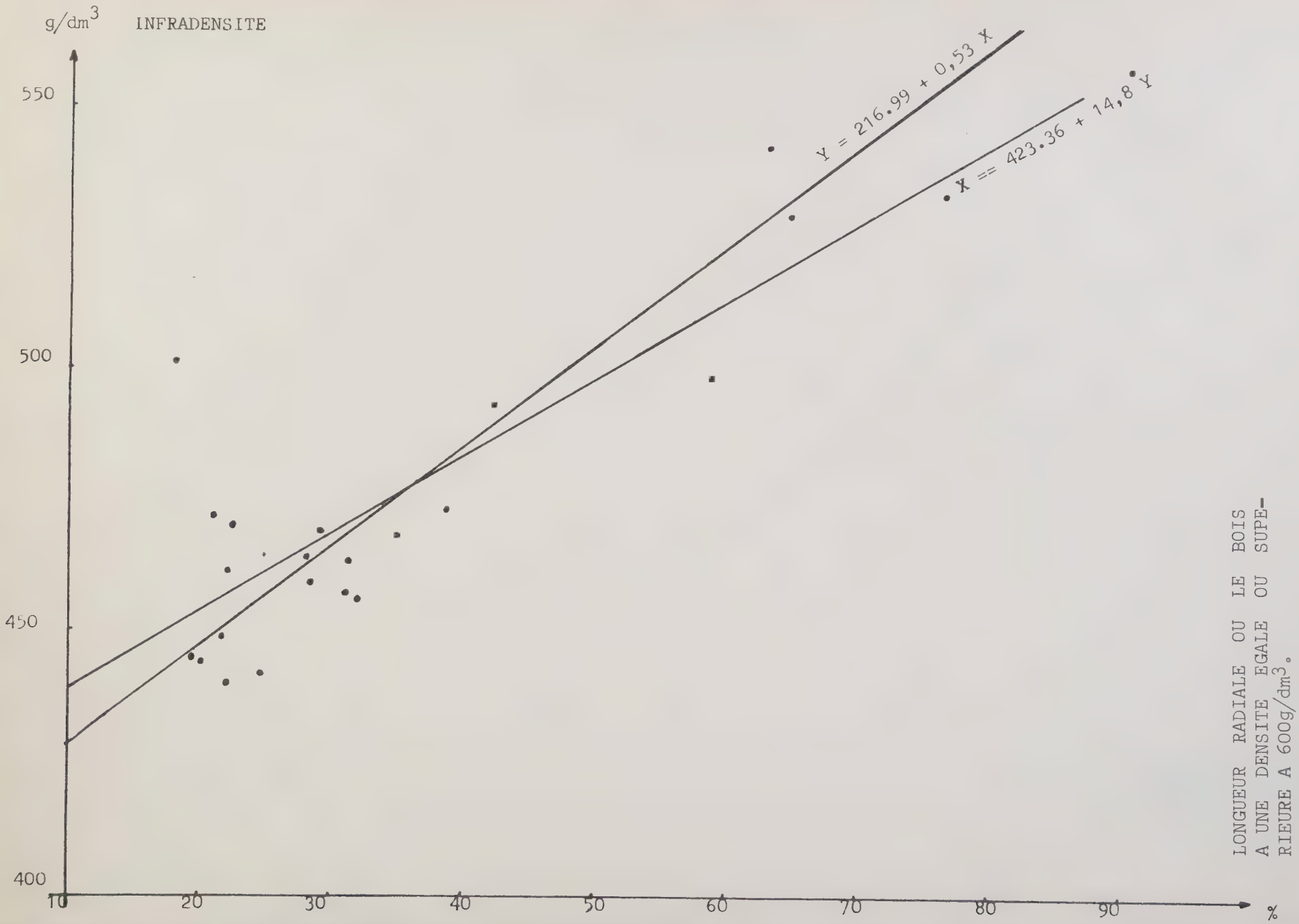
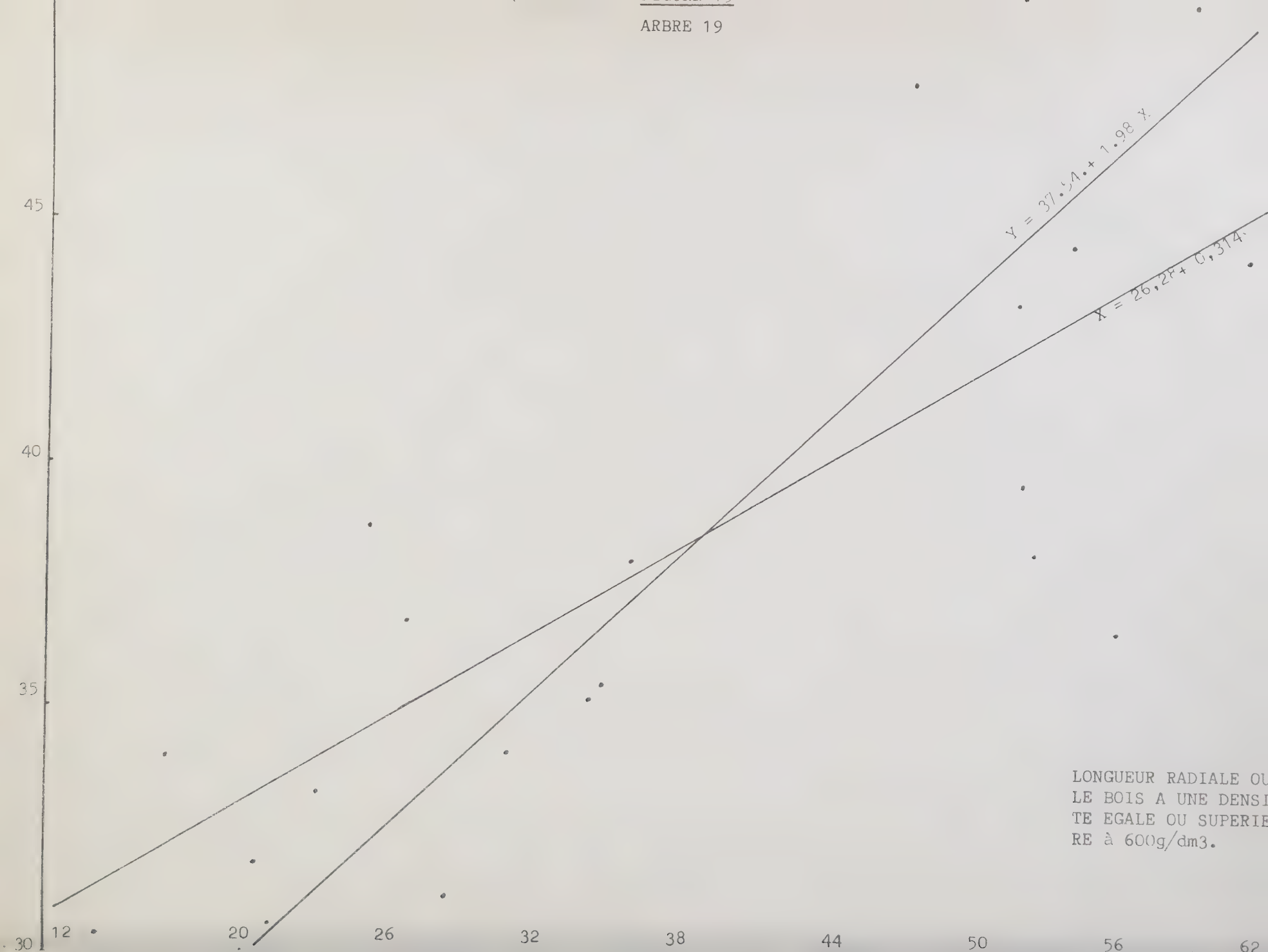

mm
LARGEUR DE CERNE
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
0,6
10
20
30
40
50
60
70
80
90
%
Y= 4,68 + 37.76 X
X= 0,56+0,01 X
LONGUEUR RADIALE OU LE
A UNE DENSITE EGALE OU
SUPERIEURE DE 600g/dm3

FIGURE 14


g/dm3
INFRADENSITE
550
500
450
400
10
20
30
40
50
60
70
80
90
%
Y = 216.99 + 0,53 X
X == 423.36 + 14,8 Y
LONGUEUR RADIALE OU LE BOIS
A UNE DENSITE EGALE OU SUPE-
RIEURE A 600g/dm3.

ARBRE 19


Y = 37.54 + 1.98 X
X = 26,28 + 0,314
45
40
35
30
12
20
26
32
38
44
50
56
62
LONGUEUR RADIALE OU
LE BOIS A UNE DENSI
TE EGALE OU SUPERIE
RE à 600g/dm3.

g/dm DENSITE MINIMALE ARBRE N°1 FIGURE 16

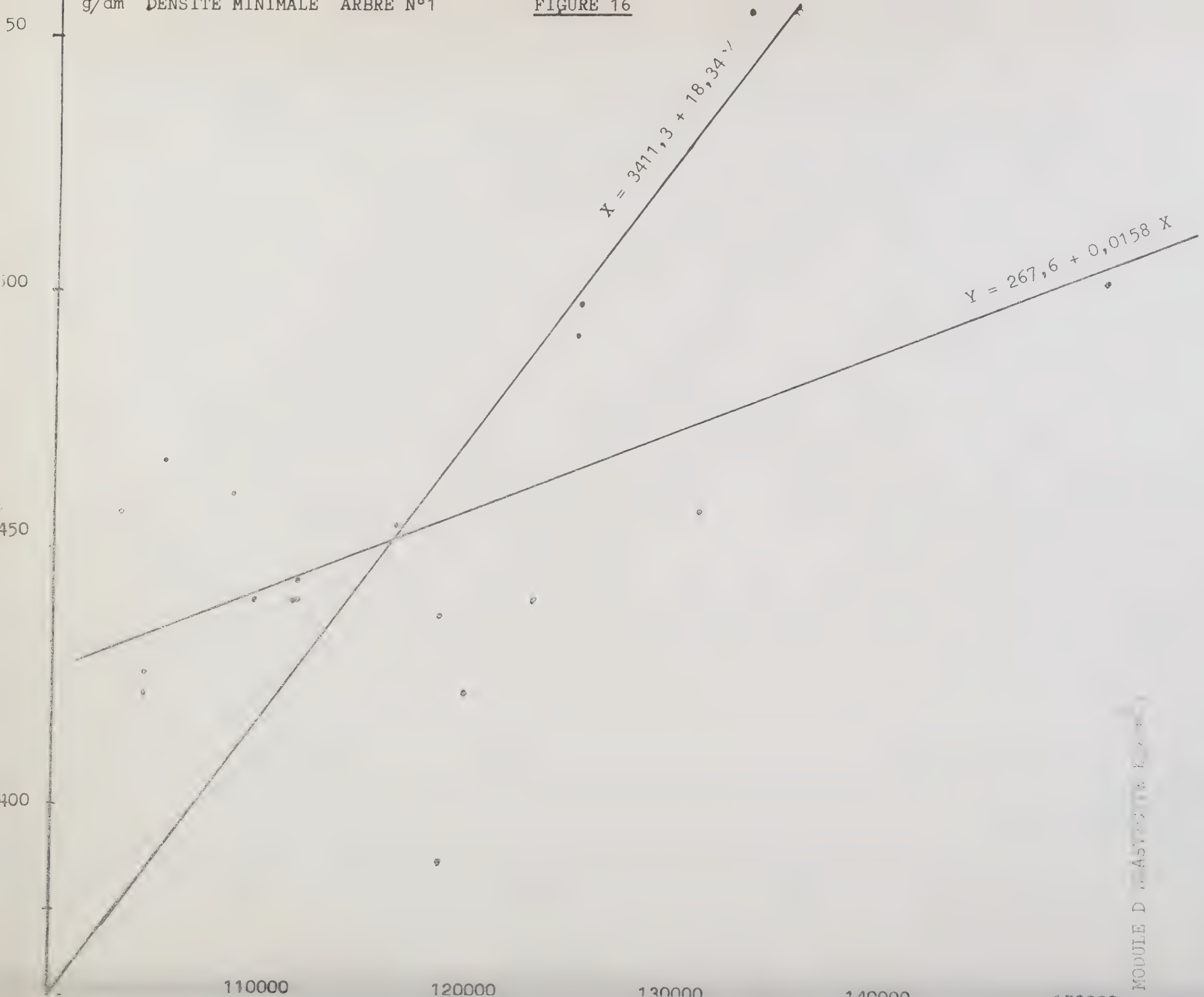


FIGURE 17

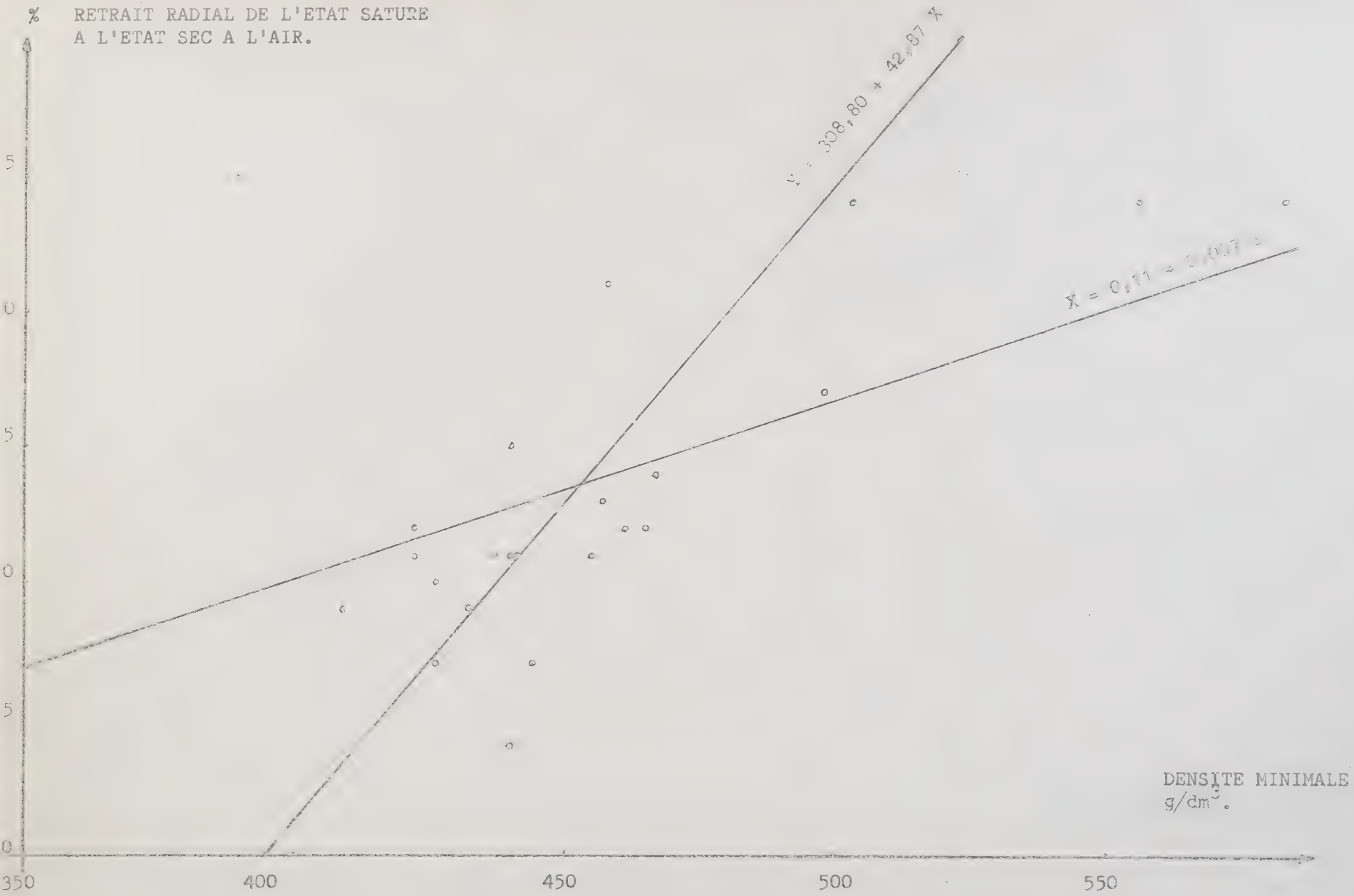

%
RETRAIT RADIAL DE L'ETAT SATURE
A L'ETAT SEC A L'AIR.
Y = 308,80 + 42,87 X
X = 0,11 + 0,007 Y
DENSITE MINIMALE
g/dm³.
350
400
450
500
550

FIGURE 18

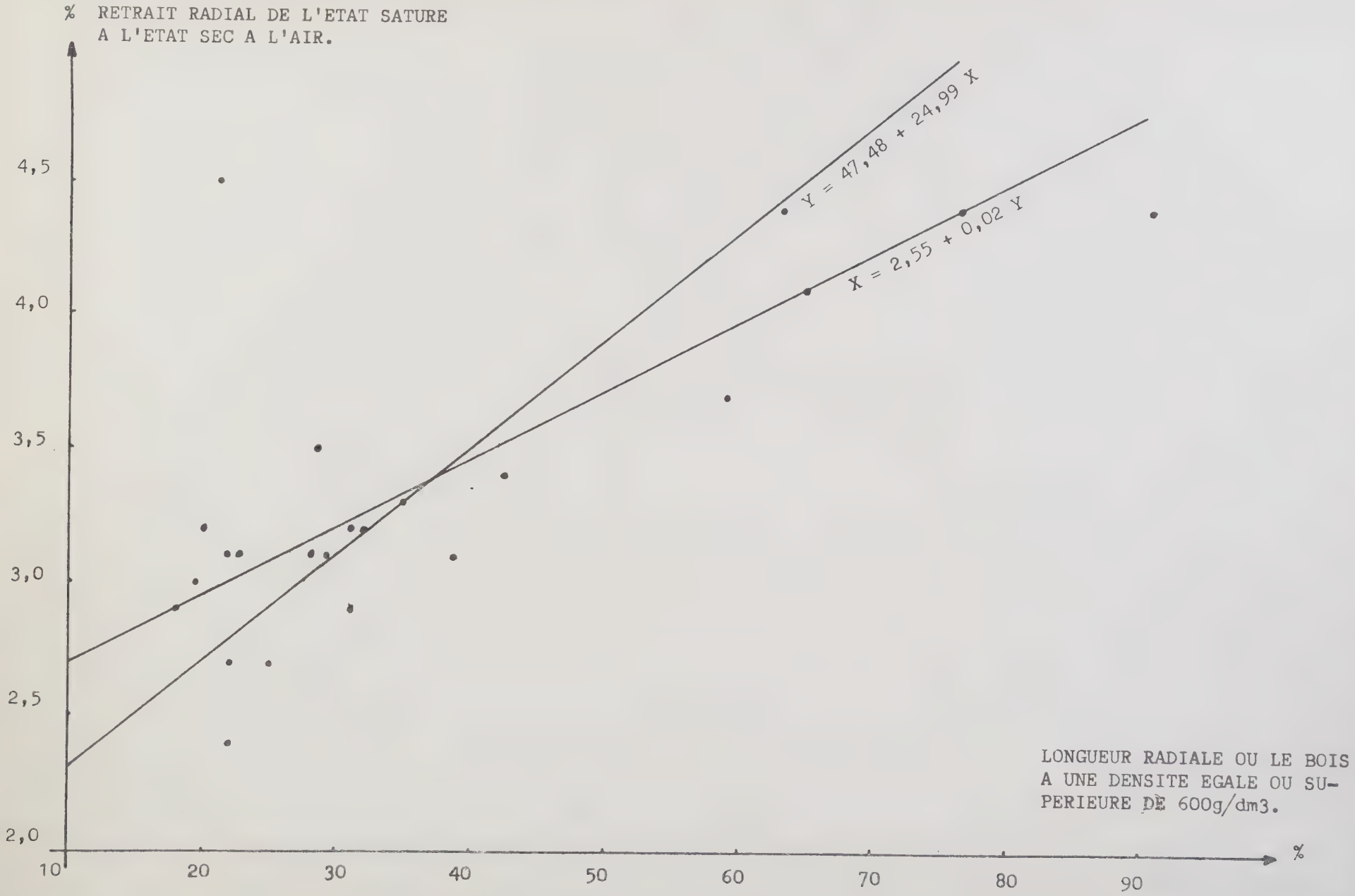
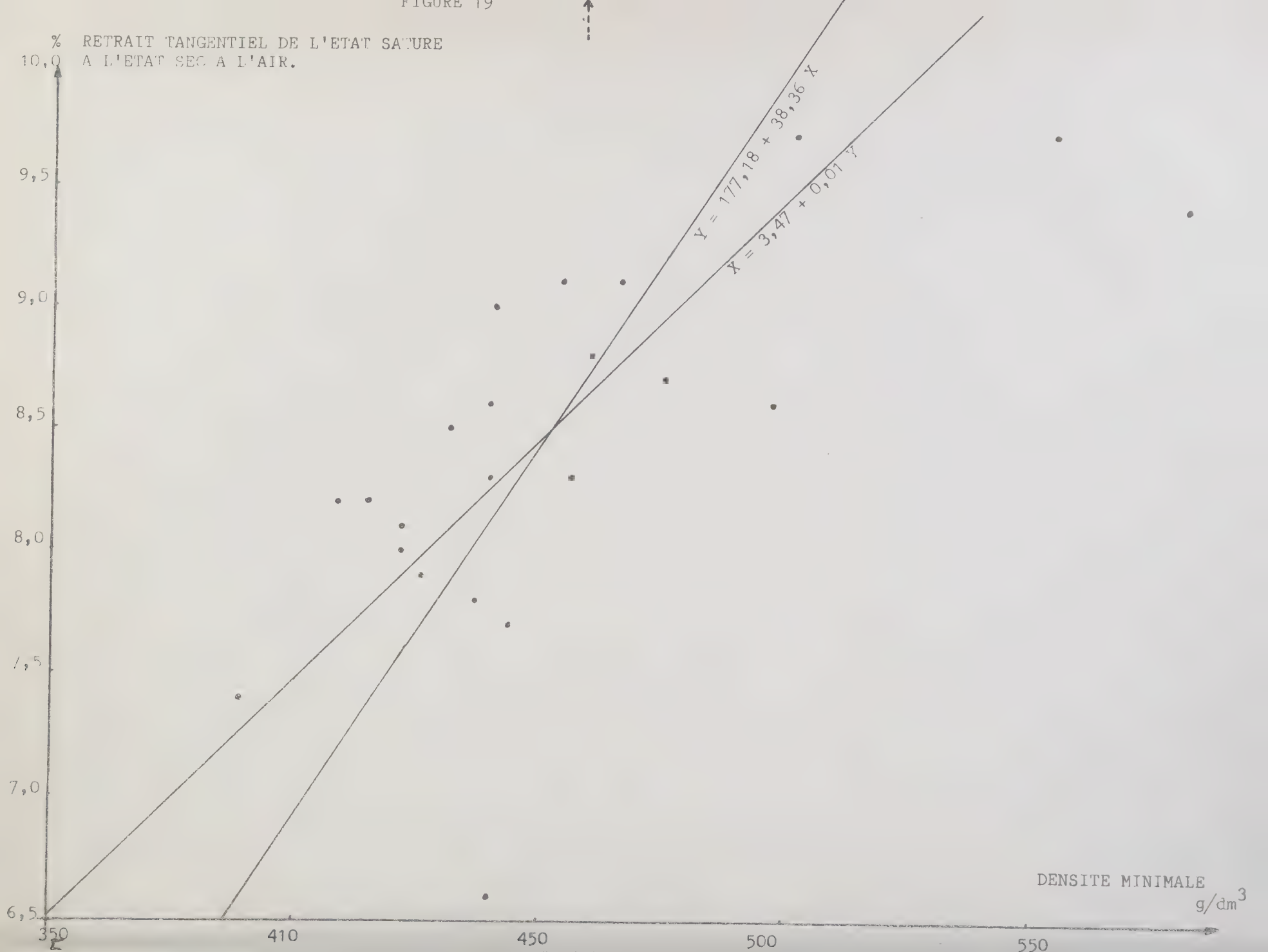

% RETRAIT RADIAL DE L'ETAT SATURE
A L'ETAT SEC A L'AIR.
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
%
Y = 47,48 + 24,99 X
X = 2,55 + 0,02 Y
LONGUEUR RADIALE OU LE BOIS
A UNE DENSITE EGALE OU SU-
PERIEURE DE 600g/dm3.

FIGURE 19


% RETRAIT TANGENTIEL DE L'ETAT SATURE
A L'ETAT SEC A L'AIR.
10,0
9,5
9,0
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
Y = 177,18 + 38,36 X
X = 3,47 + 0,01 Y
DENSITE MINIMALE
g/dm3
350
410
450
500
550

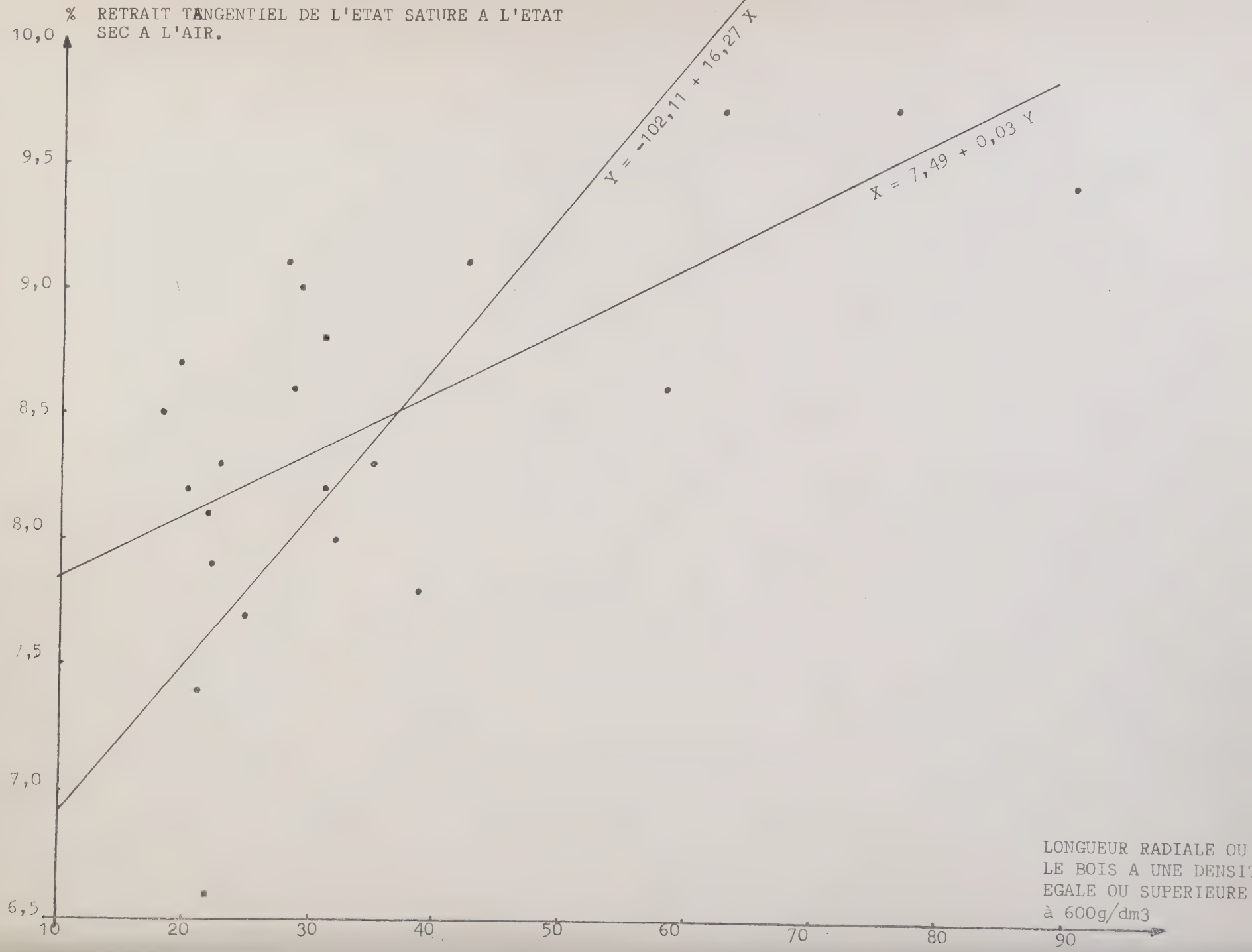
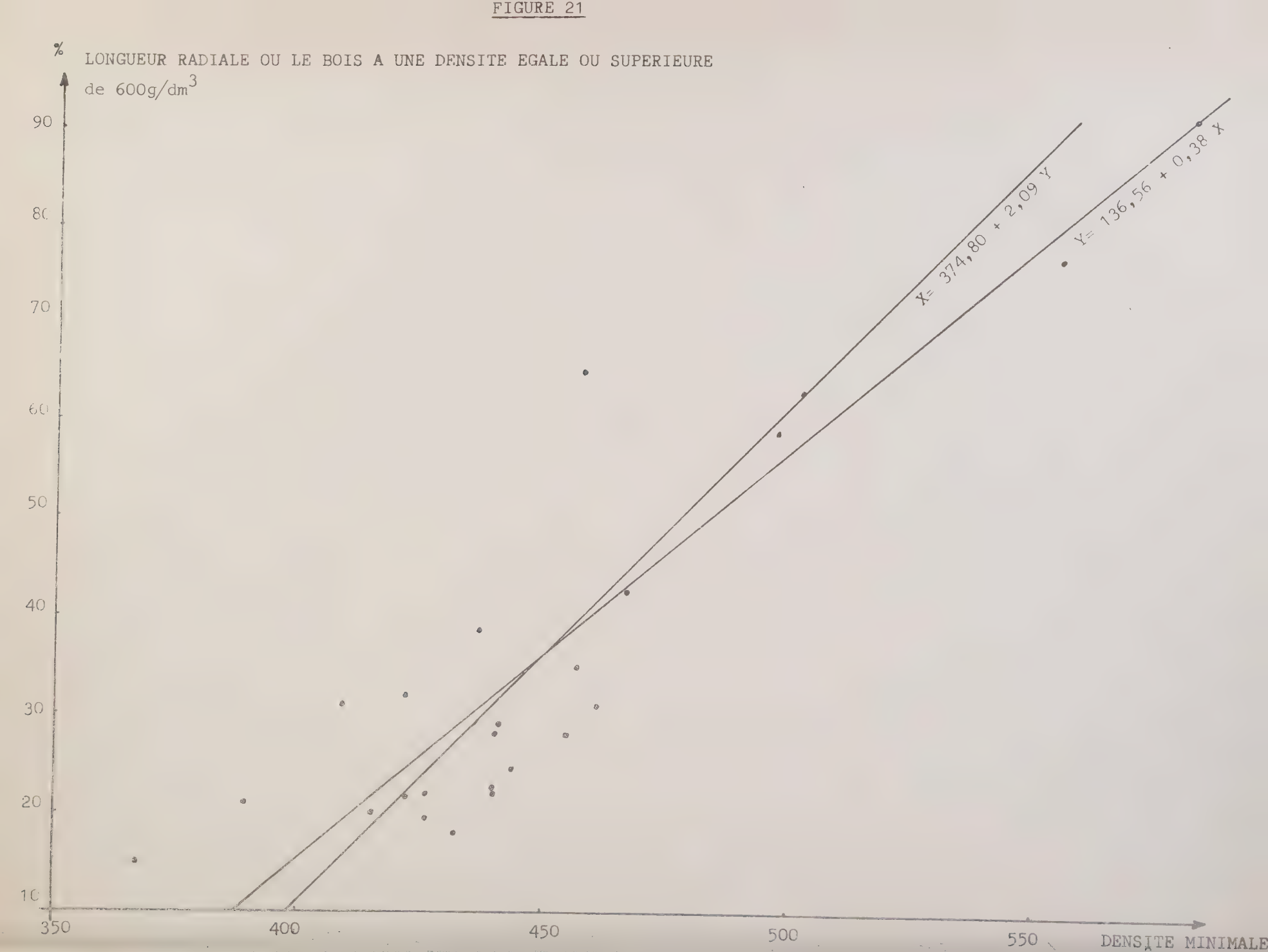

% RETRAIT TANGENTIEL DE L'ETAT SATURE A L'ETAT SEC A L'AIR.
10,0
9,5
9,0
8,5
8,0
7,5
7,0
6,5
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Y = -102,11 + 16,27 X
X = 7,49 + 0,03 Y
LONGUEUR RADIALE OU
LE BOIS A UNE DENSIT
EGALE OU SUPERIEURE
à 600g/dm3

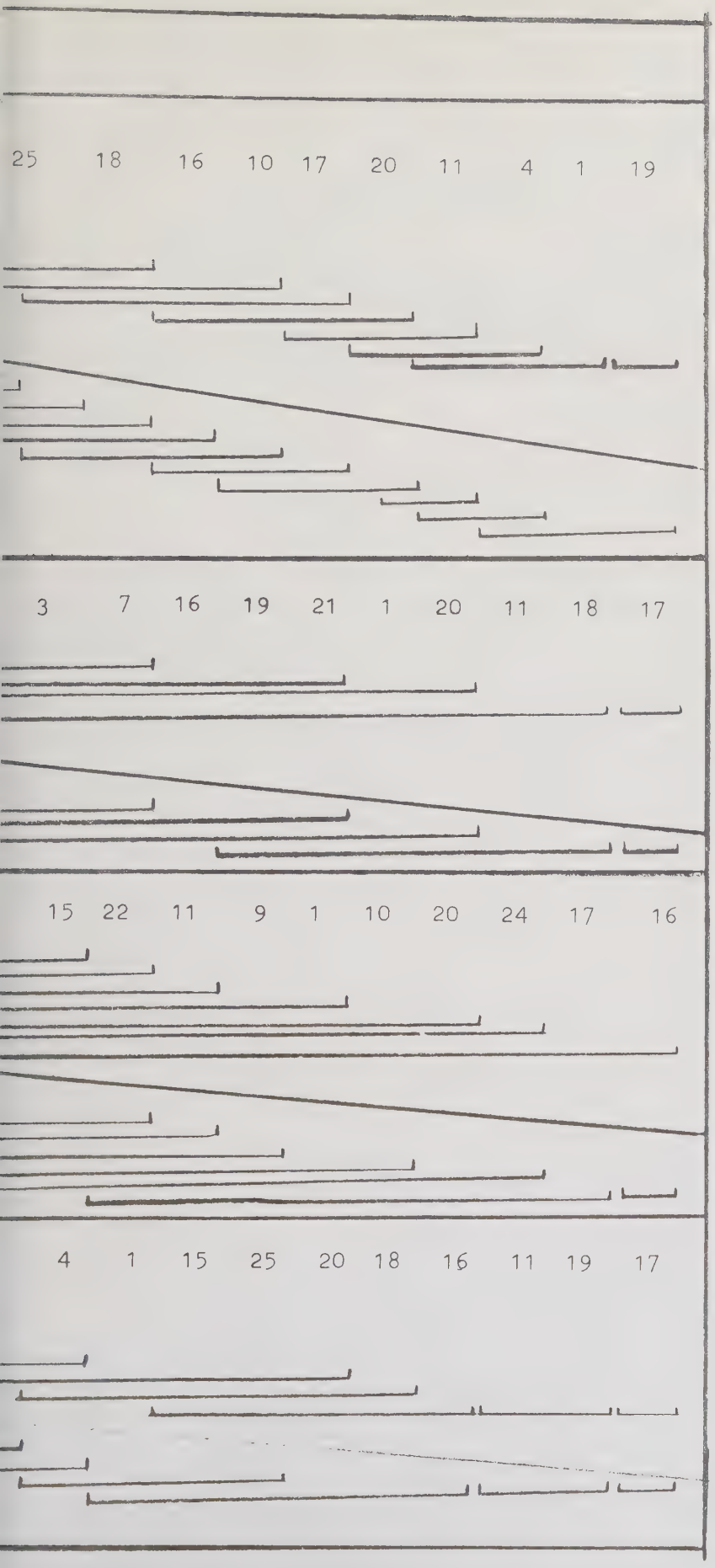
FIGURE 21


%
LONGUEUR RADIALE OU LE BOIS A UNE DENSITE EGALE OU SUPERIEURE
de 600g/dm3
90
80
70
60
50
40
30
20
10
350
400
450
500
550
DENSITE MINIMALE
X= 374,80 + 2,09 Y
Y= 136,56 + 0,38 X

A N N E X E IV

Caractéristiques.	Seuil de signification	CLASSE D'ARBRE
Infradensité	1%	3 7 6 13 23 12 2 22 8 5 24 15 21
	5%	
Largeur de cerne.	1%	22 23 24 13 10 12 15 4 5 8 9 14 6
	5%	
Flèche de rupture.	1%	3 6 8 14 12 5 21 7 25 23 18 19 4
	5%	
Charge de rupture.	1%	3 6 23 2 5 7 9 12 13 21 14 22 8
	5%	

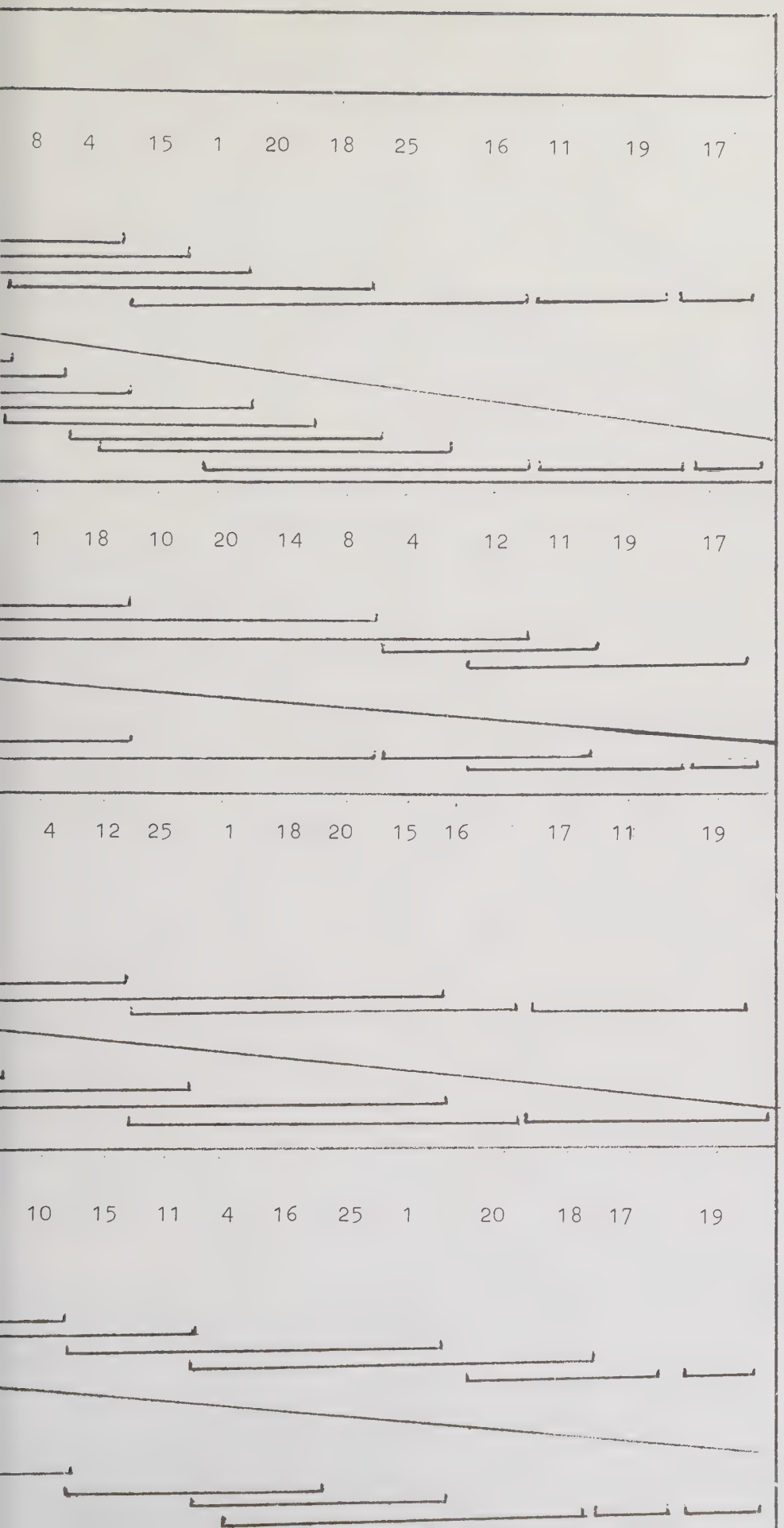
Analyse du Test de DUNCAN)



COMPARAISON DE MOYENNES

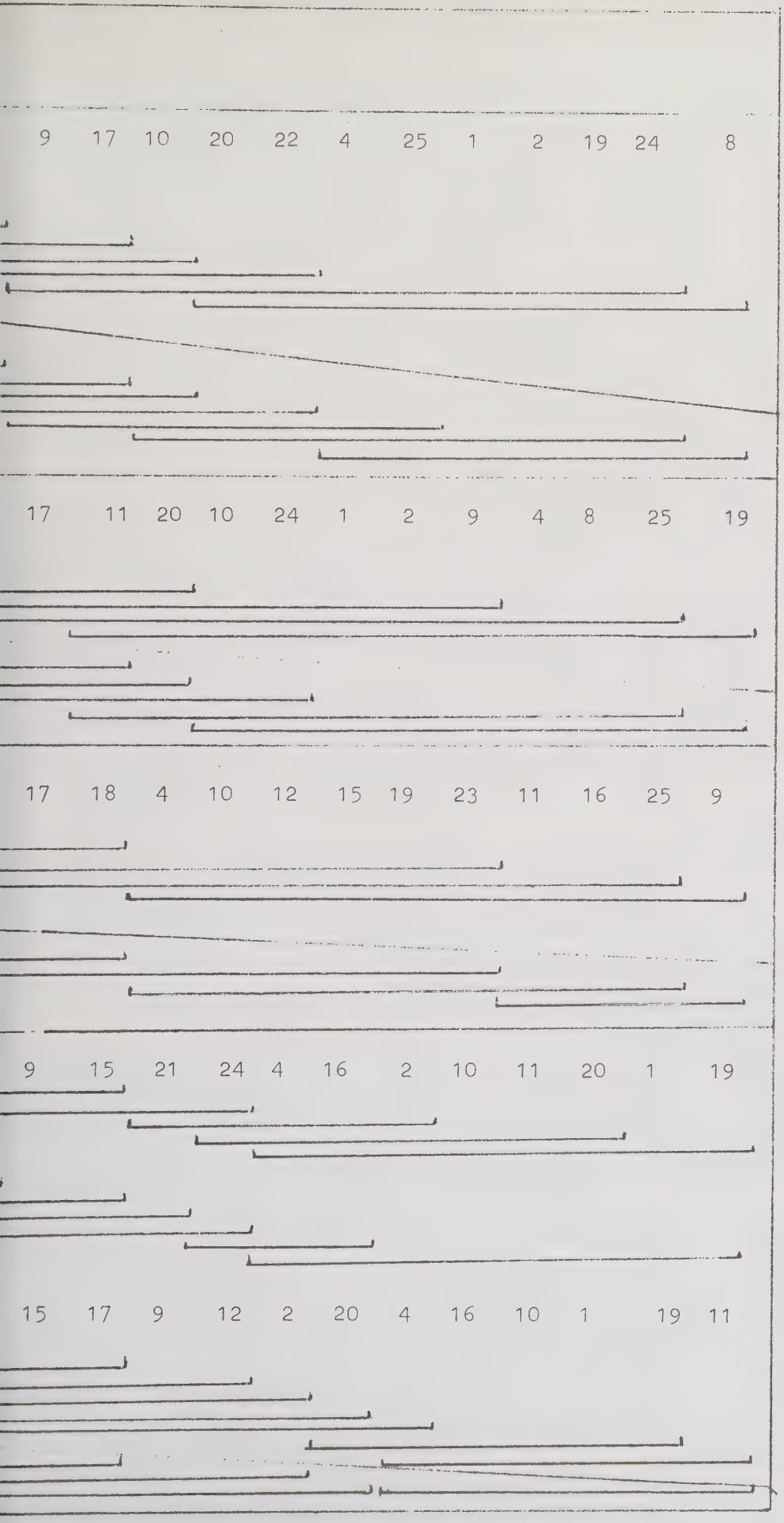
Caractéristiques	Seuil de signification	Classes d'arbres
La charge en flexion statique produisant une déformation égale à 3% de la portée.	1%	6 23 3 9 2 7 5 12 13 24 22 10
	5%	
Module d'élasticité.	1%	2 23 6 13 9 16 3 22 5 24 7 25
	5%	
Charge en compression maximale.	1%	6 7 23 3 2 5 9 24 14 13 22 10
	5%	
Dureté	1%	3 6 7 2 23 13 12 22 8 5 9 24
	5%	

(analyse du Test de DUNCAN)



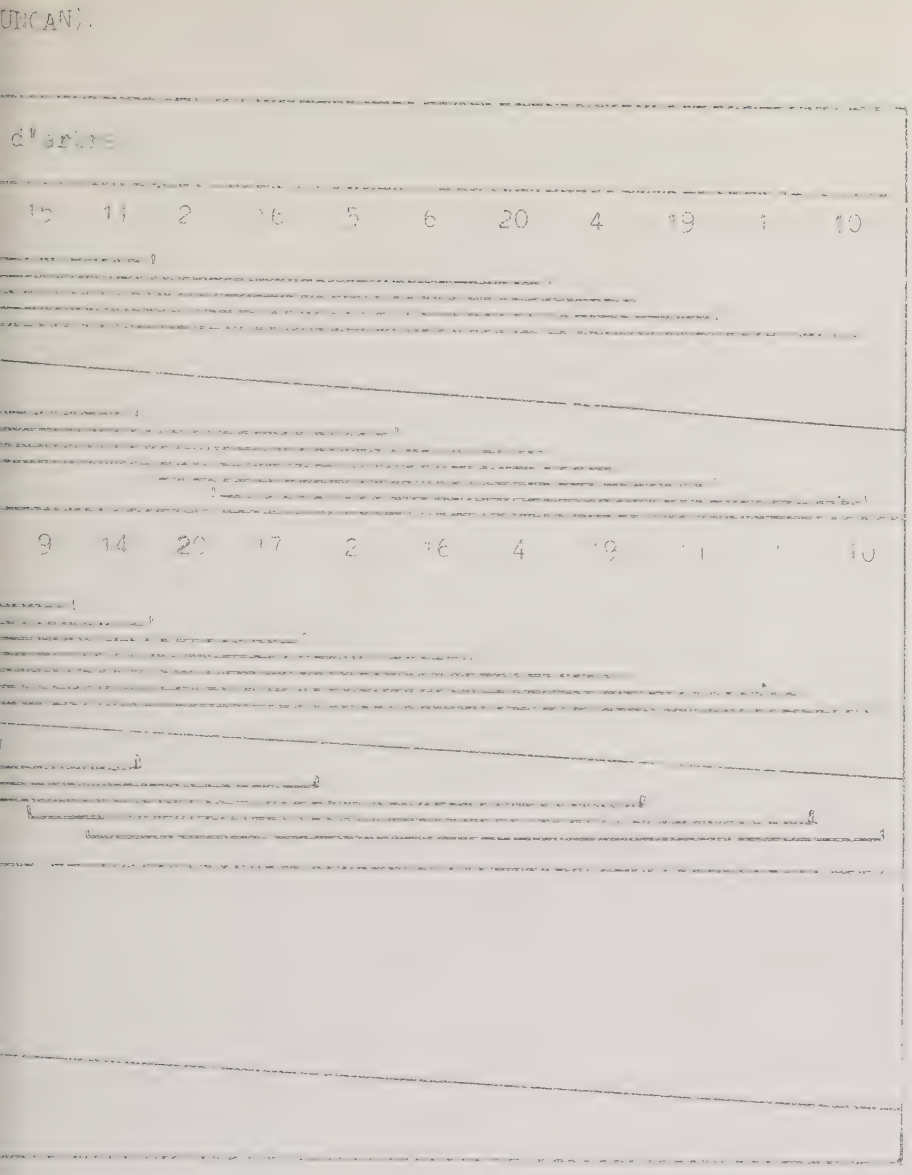
ctéristiques	Seuil de signification	Classe d'arbres
Retrait radial 'état saturé à l'état sec à l'air.	1%	14 23 5 6 12 3 18 16 21 7 15
	5%	
Retrait radial de l'état saturé à l'état anhydre.	1%	14 5 21 3 6 18 23 7 12 13 15
	5%	
Retrait radial de l'état sec à l'air à l'état anhydre.	1%	21 22 13 20 2 3 7 8 14 24 1
	5%	
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état sec à l'air.	1%	23 5 6 12 25 3 14 22 7 8 17
	5%	
Retrait tangentiel de l'état saturé à l'état anhydre.	1%	23 25 3 22 7 8 5 6 21 24 13
	5%	

(analyse du Test de DUNCAN)



caractéristiques	seuil de signification	Classe
retrait tangentiel de l'état sec à l'air à l'état anhydre	1 %	2 21 24 20 22 3 7 8 25 13 4
	5 %	
retrait axial de l'état saturé à l'état sec à l'air	1 %	17 25 12 18 20 11 19 8 21 1 2
	5 %	
retrait axial de l'état saturé à l'état anyhdre	1 %	17 8 25 3 15 11 18 19 7 20 2
	5 %	
retrait axial de l'état sec à l'air à l'état anhydre	1 %	8 3 15 17 25 11 5 7 18 19 4
	5 %	

Caractéristiques	Seuils de signification	Classes										
[illegible] parallèle aux rayons ligneux	1 %	22	13	3	23	2	24	7	4	25	8	17
	5 %											
[illegible] perpendiculaire aux rayons ligneux	1 %	3	8	22	21	5	15	23	25	7	13	24
	5 %											
résistance au choc	1 %	2	5	12	8	9	19	0	16	1	20	
	5 %											


d'arbre
15 11 2 16 5 6 20 4 19 1 10
9 14 20 17 2 16 4 19 1 10

COMPARAISONS DE MOYENNES (Test de DUNCAN), de composantes de la densité.

Caractéristiques	Classe d'arbre	Seuil de signification
Densité maximale	9 16 20 19 1	[illegible]
		[illegible]
Densité Minimale	9 16 20 1 19	1%
		5%
Pourcentage de longueur radiale où le bois a une densité à 600g/dm^3.	9 16 20 19 1	1%
		5%

B I B L I O G R A P H I E

1 - PARDE (L.), 1962 - Les feuillus.
La maison rustiques Paris 392 P.

2 - JOVANOVIC (B), TUTOVIC (A.), 1967 - Quelques remarques sur l'aire de Fagus orientalis dans l'Est de la Serbie.
Sumarstvo, 20, (3/4), : 3

3 - MOSSADEGH (A.), 1968 - Aperçu général sur les hêtraies montagnardes des forêts de la Caspienne en Iran.
R.F.F., (1), : 20

4 - TRAGUBOV (V.), 1967 - Umwandlung der Wälder der Bergund Hügelstufen am Kaspischen Meer in Iran durch waldbauliche Behandlungen.
XIV - I.U.F.R.O. - Kongress, section 23.

5 - DJAZIREI (M.H.), 1965 - Contribution à l'étude des forêts primaires de la Caspienne.
Bull. de l'Inst. Agro. et des stations de recherches de GEMBLOUX, 33, (1), : 35

6 - BOUT (P.), DERRUAU, (M), DRESCH (J.) et PEGUY (P.), 1961 - Observations de géographie physique en Iran Septentrional.
C.N.A.S. Centre de documentation cartographique et géographique, Tome VIII, 102 P.

7 - SABETI (H.), 1969 - Les études bioclimatiques de l'Iran. Publication de l'université de Téhéran n°1231, 266 p.

8 - ZARINKAFCHE (M.), 1968 - Analyse du sol des forêts d'ASSALEM.
Publication de la faculté d'agronomie de Karadj.

.../...

9 - PARSA (D.), 1968 - Etude anatomique du bois de quelques essences feuillus Iraniennes.
D.E.A. Faculté des Sciences de Nancy.

10 - POLGE (H.), 1966 - Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur les arbres vivants. Application dans le domaine technologique et physiologique. Thèse de Docteur ès - Sciences appliquées, Faculté des Sciences de Nancy.

11 - KELLER (R.), 1968 - Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois, les composantes de la densité. Ann. Sci. forest., 25, (4), [illegible]

12 - A.F.N.O.R., 1942 - Caractéristiques physiques et mécaniques des bois. Les normes françaises du bois 51 - 007 à 013.

13 - VENET (J.), 1958 - Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la producteur forestière.
Thèse de Docteur - Ingénieur, Faculté des Sciences de Nancy.

14 - KOLLMANN (F.P.), WILFRED (A.), 1968 - Principles of wood science and technology. I -Solid wood. Springer-verlag Berlin Heidelberg New-York, 592 P.

15 - PANSHIN (A.J.), ZEEUW (C.), 1964 - Textbook of wood technology. vol. 1, second édition. Mc Graw-Hill Book company, New-York, 643 p.

16 - KEYLWERTH (R.), 1954 - Ein Beitrag zur qualitativen Zuwachsanalyse. Holz als Roh.u. werkstoff. 12, (3), : [illegible]

17 - POLGE (H.), 1963 - Contribution à l'étude de la qualité du bois des principalesessences résineuses exotiques utilisées dans les reboisements français.
Ann. E.N.E.F. et de la station de recherche , tome 20, fascicule 3, : 401.

18 - SCHWARTZ (D.), 1963 - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes.
Editions médicales Flammarion, 296 p.

19 - RIVES (M.), 1959 - Sur la comparaison des moyennes dans les essais variétaux.
Ann. de l'amélioration des plantes (3), : 357

20 - (WALTER A.) BECKER , 1967 - Manual of procedures in quantitative geneti s.

21 - GÜRSU (I.), 1960 - Un travail sur les résistances mécaniques de Fagus-orientalis de la région de TOKAT.
J. de l'Institut turc de recherches forestières, 6, (2), : 30

22 - HORVAT (IVO.), 1969 - The principal and mechanical properties of Beechwood from the forest districts Zümberak, Petrova Gora, Senjsko bilo and velebit.
Drvna Industrija, God 20, (11/12), : 183

23 - POLGE (H.), KELLER (R.), 1968 - Influence de l'approvisionnement en eau sur la structure interne des accroissements annuels.
Am. Sci. forest. 25, (3), : 125

24 - FUJISAKI (Kenjiro), 1962 - Studies on factors affecting the modulus of elasticity of wood. On the relation between the inclination of micellar orientation and modulus of elasticity
Bull. E hime univ. Forest. (1), : 34

25 - MADDERN HARRIS (J.), MEYLAN (B.A.), 1965 - The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in Pinus radiata.
Holzforschung - Bd 19 H eft 5, : 144

26 - BAREFOOT (A.C.), 1965 - Influence of cellulose, lignin, and density on Thoughness of yellom-poplar.
For. Product. J. Vol. 1, : 46

.../...

27 - VILLEY (J.), CAQUOT (A.), 1932 - Memorial des Sciences physiques.
- Introduction à l'étude de la résistance des matériaux.
Gauthier-Villars et Cie, Paris, 76 p.

28 - CAMPREDON (J.), 1967 - Propriétés mécaniques du bois
Ecole supérieure du bois, Paris. 61 P.

29 - NAKATO (K.), 1958 - On the cause of the anisotropic shrinkage and swelling of wood. IX. On the relationships between the microscopic structure and the anisotropic shrinkage in tranverse section. (2)
Journal of the Japan wood research society Mokusai Gakkaishi.
Vol. 4 N°4 : 134

30 - WARDROP - (A.B.), 195 - Cell-wall organisation. Properties of the xylem,
Aust. J. Sci. Res. B. 4 : 39.

31 - KELSEY (K.), 1963 - A critical review of the relaitionship between the shrinkage and structure ofwood.
Division of forest products-Technological paper N°28
Cemmenwealth scientific and industrial research organisation,Australia 35 P.

32 - HANN (R.A.), 1969 - Longitudinal shrinkage in seven species of wood.
Forest products laboratory, forest service U.S. Département of Agriculture 13 P.

33 - JAQUIOT (C.), 1961 - Les échauffures des bois abattus.
C.T.B., Service des recherches et essais biologiques et chimiques. Paris, 5 P.

34 - POLGE (H.), 1962 - Recherches sur l'utilisation de prélèvements effectués à la tarière de PRESSLER pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques des bois.
R.F.F. N° 10 : 835

.../...

35 - POLGE (H.), KELLER (R.), 1970 - Rapport de mission de consultants en TUNISIE.
I.N.R.A., C.N.R.F., Station de recherches sur la qualité des bois, 52 P.

36 - SCHAEFFER (A.), 1954 - La qualité du hêtre.
Extrait de la revue forestière française N°11, : 662

NOM DE L'ETUDIANT : PARSA - PAJOUH Davoud

Nature de la thèse : DOCTEUR INGENIEUR

Vu, Approuvé
et Permis d'imprimer

NANCY, le 6 Juillet 1970

Le Doyen,

J. AUBRY